

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-4-94-101  
УДК 681.511.42:622.678.5**МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ШАХТНОЙ  
ПОДЪЁМНОЙ МАШИНЫ В РЕЖИМЕ ЗАМЕДЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ****FUZZY LOGIC BASED MODULE FOR MINE WINDER ELECTRIC DRIVE  
CONTROL IN THE DECELERATION STATE****Кубарев Василий Анатольевич,**

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: kubarev.sibsiu@list.ru

**Kubarev Vasily A., C. Sc., Associate Professor****Корнеев Виктор Александрович,**

кандидат техн. наук, доцент, e-mail: korneev\_va@list.ru

**Korneev Victor A., C. Sc., Associate Professor****Галлямова Ольга Радиковна,**

соискатель, e-mail: 20gao15@mail.ru

**Gallyamova Olga R., postgraduate**

Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Siberian State Industrial University, 42 Kirova street, Novokuznetsk, 650007, Russian Federation

**Аннотация.** В настоящей работе предложен основанный на нечеткой логике алгоритм формирования задания на скорость шахтной подъемной машины на участке замедления, учитывающий скорость, ускорение, момент двигателя и положение подъемного сосуда на участке замедления. Приведены основные функции и математические зависимости, также предложена структура модуля формирования задания. Предлагаемый алгоритм формирования задания на скорость в режиме замедления подъемной машины в функции действительной скорости, ускорения, момента двигателя и положения подъемного сосуда позволяет достичь точного подхода к разгрузочному устройству как при изменении нагрузки (загруженности подъемного сосуда), так и параметров системы управления и электрооборудования.

**Abstract.** The paper is devoted to a fuzzy logic based algorithm for forming speed reference of a mine winder in a deceleration state, that takes into account speed, acceleration, engine torque, and the position of the conveyance in the deceleration state. The main functions and mathematical dependences are given, the structure of the speed reference module is also proposed. The proposed algorithm for creating a speed reference in the deceleration mode of mine winder as a function of actual speed, acceleration, engine torque and the position of the skip allows to achieve an accurate approach to the unloading unit both at load changing (conveyance load) and the parameters of the control system and electrical equipment.

**Ключевые слова:** шахтная подъемная машина, система автоматического управления, автоматизированный электропривод, нечеткая логика, система логического управления, подъемный сосуд, ошибка в переходных режимах.

**Keywords:** mine winder, automatic control system, automated electric drive, fuzzy logic, logical control system, conveyance.

**Введение**

Сложившиеся экономические условия требуют дальнейшей интенсификации работы как действующих рудников и шахт, так и ввода в эксплуатацию новых. При этом вновь вводимые в Кузбассе предприятия в основном ориентированы на подземную добычу угля, так как тенденция открытия новых разрезов, и постоянного роста объемов открытой добычи начинает себя исчерпывать [1].

Поэтому, из-за интенсификации работ именно производительность подъемов начинает

ограничивать производительность шахты в целом. Анализ работы подъемных установок показал, что единственной возможностью повышения производительности на действующих шахтах без пересмотра технологического процесса является автоматическое формирование такой диаграммы скорости подъемных сосудов, которая позволила бы уменьшить время цикла.

Как показано в работах [2, 3], для того чтобы получить в электроприводе шахтной подъемной машины (ШПМ) нулевые статические ошибки по управляющему и возмущающему воздействиям

целесообразно применять двухконтурную систему автоматического регулирования скорости (САРС) с ПИ-регулятором скорости. Для электропривода ШПМ без ослабления поля, принимая, что тиристорный преобразователь имеет линейную характеристику и, пренебрегая падением напряжения в якорной цепи, можно считать, что САРС с обратной связью по ЭДС является системой автоматического регулирования скорости [4]. Система регулирования шахтной подъёмной машины с контуром ЭДС описывается следующим выражением:

$$\left. \begin{aligned} u_{zu} &= \begin{cases} u_{zu}^*, \text{ при } u_{zu} \neq u_3; \\ u_3, \text{ при } u_{zu} = u_3. \end{cases} \\ \frac{du_{zu}^*}{dt} &= \frac{u_p}{T_{zu}}; \\ \frac{du_{p3}}{dt} &= \frac{k_{p3}T_1}{T_u} \left( \frac{du_{zu}}{dt} - \frac{dE}{dt} \right) + \frac{1}{T_u} (k_{p3}u_{zu} - E); \\ \frac{du_{pn}}{dt} &= \frac{k_{pn}T_2}{T_{pn}} \left( \frac{du_{p3}}{dt} - \frac{du_{я}}{dt} \right) + \frac{1}{T_{pn}} (k_{pn}u_{p3} - u_{я}); \\ \frac{du_{я}}{dt} &= \frac{1}{T_2} (k_2 i_{\delta} - u_{я}); \\ \frac{di_{\delta}}{dt} &= \frac{1}{T_{mn}} (k_{pn}u_{pn} - i_{\delta}); \\ \frac{di_{я}}{dt} &= \frac{1}{T_3} \left( \frac{1}{R_{я}} (u_{я} - k\Phi \cdot \omega) - i_{я} \right); \\ \frac{d\omega_1}{dt} &= \frac{1}{(J_1 + J_2)} (i_{я} k\Phi - M_{12}); \end{aligned} \right\} (1)$$

Структурная схема системы, соответствующая представленному выражению (1) приведена на рис. 1.

Как показано в [5], представленная на рис. 1 двухконтурная система регулирования с внутренним контуром напряжения и внешним контуром ЭДС с ПИ-регулятором становится астатической по возмущающему и управляющему воздействиям только при коэффициенте усиления регулятора ЭДС больше 20. В реальной системе реализовать коэффициент усиления больше двух невозможно, так как при больших коэффициентах усиления система становится неустойчивой. Это приводит к появлению ошибки по скорости при разгоне и замедлении на величину зависящую от  $T_m$ , при этом величина ошибки для ШПМ с

$T_m = 0,6$  с. может достигать 20%.

Кроме того, дополнительную ошибку вызывает изменение параметров электропривода и электрических машин, что необходимо учитывать при автоматическом формировании задания в динамических режимах.

Поэтому, для уменьшения времени цикла во время замедления необходимо формировать задание на скорость так, чтобы находиться на траектории, обеспечивающей оптимальное приближение к точке останова вне зависимости от загрузки и параметров электропривода.

Из выражения (1) видно, что после подачи сигнала «начало замедления» сигнал заданной скорости будет линейно изменяться согласно выражению:

$$u_{zu}(t) = u_{zu \max} - u_p \frac{1}{T_{zu}} t \quad (2)$$

где  $T_{zu}$  — постоянная интегрирования задающего устройства;

$u_p$  — ограничение релейного элемента.

Таким образом, необходимую форму сигнала задания можно обеспечить изменяя значение постоянной интегрирования задающего устройства  $T_{zu}$  в выражении (2), для чего необходимо разработать структуру и алгоритм модуля формирования замедления.

#### Разработка нечеткого контроллера модуля формирования замедления

Были проанализирована возможность применения для решения данной задачи модуля с нечетким контроллером. Анализ источников показал, что нечеткие регуляторы применяются в различных системах управления электроприводов различных типов с ограничением скорости как за рубежом [6, 7, 8, 9], так и в России [10].

В качестве входных параметров блок нечеткого контроллера принимает переменные технологического процесса скорость ( $v_c$ ), ускорение ( $a_d$ ), положение подъёмного сосуда ( $h_c$ ).

Рабочими переменными модуля, на основании которых принимается решение о формировании выходного значения переменной, являются скоростная ошибка  $\varepsilon_v$  и скорость изменения скоростной ошибки  $\Delta \varepsilon_v$ .

Зависимость максимальной скорости от положения подъёмного сосуда на участке

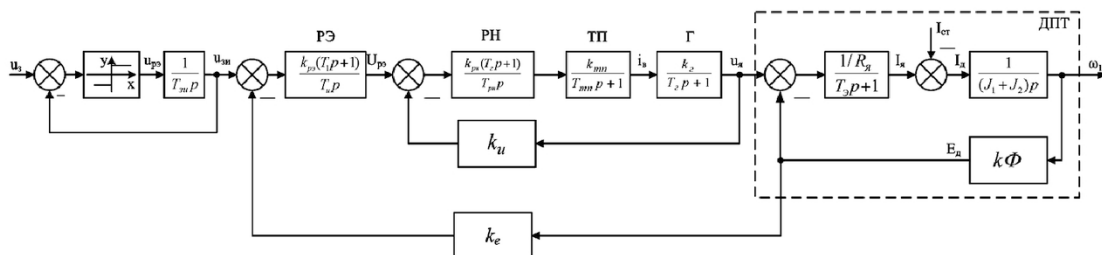


Рис. 1. Блок-схема системы управления подъёмной машиной с электроприводом постоянного тока  
 Fig. 1. Block diagram of the control system of a mine winder with a DC-powered electric drive

замедления описывается выражением [11]:

$$v_3(h) = -v_{nep}(h) + \sqrt{2a_3(h_c - h_d) + v_n^2},$$

где  $v_{nep}(h) = \frac{a_m^2}{2\rho_m}$ ;

$v_{nep}$  — скорость сосуда при входе на участок замедления, м/с;

$a_3$  — замедление защитной тахограммы, м/с<sup>2</sup>;

$h_c$  — нтреотт положение подъемного сосуда, м;

$h_d$  — точка входа в кривые, м;

$v_n$  — скорость подхода к кривым, м/с/

Скоростная ошибка — разница между заданной скоростью и максимальной допустимой скоростью на данном участке, определяемой защитной диаграммой скорости:

$$\varepsilon_v = \frac{v_3(h) - v_c(h)}{v_3(h)} \cdot 100\%,$$

где  $v_3$  — максимально допустимая скорость подъемного сосуда, м/с;

$v_c$  — действительная скорость, м/с.

Скорость изменения ошибки можно найти как:

$$\Delta\varepsilon_v = \frac{d\varepsilon_v}{dt}$$

В качестве функций принадлежности в нечетком контроллере на основании эксперимента выбраны следующие функции: для скоростной ошибки ( $\varepsilon_v$ ) и скорости изменения ошибки ( $\Delta\varepsilon_v$ ) —

трапецидальная ( $\mu_{тф}$ ), для выходной переменной ( $a_k$ ) — треугольная ( $\mu_{тп}$ ), в качестве крайних значений диапазонов Z-линейная ( $\mu_Z$ ) и S-линейные ( $\mu_S$ ) функции, определяемые следующими выражениями [12]:

$$\mu_{тп}(a_k) = \begin{cases} 0, & \text{при } a_k \leq a \\ \frac{a_k - a}{b - a}, & \text{при } a \leq a_k \leq b \\ 1, & \text{при } b \leq a_k \leq c \\ \frac{d - a_k}{d - c}, & \text{при } c \leq a_k \leq d \\ 0, & \text{при } d \leq a_k \end{cases}$$

$$\mu_{тф}(\Delta\varepsilon_v) = \begin{cases} 0, & \text{при } \Delta\varepsilon_v \leq a \\ \frac{\Delta\varepsilon_v - a}{b - a}, & \text{при } a \leq \Delta\varepsilon_v \leq b \\ \frac{c - \Delta\varepsilon_v}{c - b}, & \text{при } b \leq \Delta\varepsilon_v \leq c \\ 0, & \text{при } \Delta\varepsilon_v \leq c \end{cases}$$

$$\mu_Z(\varepsilon_v) = \begin{cases} 1, & \text{при } -\infty < \varepsilon_v \leq c \\ \frac{d - \varepsilon_v}{b - c}, & \text{при } c < \varepsilon_v \leq d \\ 0, & \text{при } \varepsilon_v > d \end{cases}$$

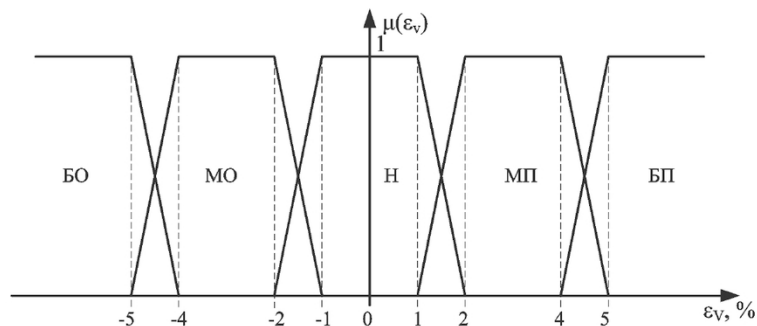


Рис. 2. Функция принадлежности скоростной ошибки  
 Fig. 2. Membership function of speed error

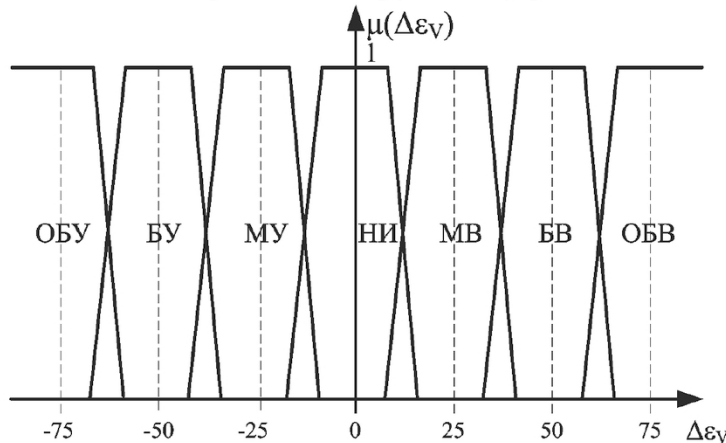


Рис. 3. Функция принадлежности скорости изменения ошибки  
 Fig.3. Membership function of error change speed

$$\mu_S(\varepsilon_v) = \begin{cases} 0, & \text{при } \varepsilon_v \leq a \\ \frac{\varepsilon_v - a}{b - a}, & \text{при } c < \varepsilon_v \leq d \\ 1, & \text{при } \varepsilon_v > b \end{cases}$$

При этом для крайних термов S- и Z-линейные функции принадлежности выбраны так, чтобы их степень принадлежности на границах интервалов была равной единице. С каждым входным параметром нечеткого контроллера сопоставлена определенная лингвистическая переменная.

Термы лингвистической переменной, скоростной ошибки  $T_\varepsilon$  определены, как:

$$T_\varepsilon = \{\text{«БО»}, \text{«МО»}, \text{«Н»}, \text{«МП»}, \text{«БП»}\}$$

Функции принадлежности показаны на рис. 2 (условные обозначения: БО — «большое отклонение», МО — «отклонение», Н — «норма», МП — «малое превышение», БП — «большое превышение»).

Термы лингвистической переменной для скорости изменения ошибки  $T_{\Delta\varepsilon}$  определены, как:

$$T_{\Delta\varepsilon} = \{\text{«ОБУ»}, \text{«БУ»}, \text{«МУ»}, \text{«НИ»}, \text{«МВ»}, \text{«БВ»}, \text{«ОБВ»}\}$$

Функция принадлежности показана на рис. 3 (условные обозначения: ОБУ — «очень быстро уменьшается», БУ — «быстро уменьшается», МУ — «медленно уменьшается», НИ — «не изменяется», МВ — «медленно возрастает», БВ — «быстро возрастает», ОБВ — «очень быстро возрастает»).

При изменении постоянной интегрирования задающего устройства, для обеспечения безопасной работы подъема, необходимо чтобы замедление для скиповой подъемной установки не

превышало значение  $1,0 \text{ м/с}^2$  [13, 14] и было не менее  $0,5 \text{ м/с}^2$  во избежание слишком большого рассогласования между заданием и действительной скоростью.

Выходное значение определяется как логический вывод на основе применения базы правил R.

Сформулированы следующие правила, определяющие работу нечеткого контроллера модуля формирования замедления:

R<sub>1</sub>: **Если** скоростная ошибка БО **и** приращение ошибки ОБУ, **то** коррекция ускорения ОБОК.

R<sub>16</sub>: **Если** скоростная ошибка МО **и** приращение ошибки НИ, **то** коррекция ускорения ОМОК;

R<sub>18</sub>: **Если** скоростная ошибка Н **и** приращение ошибки НИ, **то** коррекция ускорения НК.

R<sub>35</sub>: **Если** скоростная ошибка БП **и** приращение ошибки БВ, **то** коррекция ускорения БПК.

В качестве способа логического вывода используется min-max вывод, при котором импликация интерпретируется как операция минимума, а агрегация выходов правил как операция максимума.

Выводом правила импликации является лингвистическая переменная «величина коррекции ускорения  $a_k$ », множество термов  $T_{a_k}$  которой определено, как:

$$T_{a_k} = \{\text{ОБОК}, \text{БОК}, \text{СОК}, \text{МОК}, \text{ОМОК}, \text{НК}, \text{ОМПК}, \text{МПК}, \text{СПК}, \text{БПК}, \text{ОБПК}\}.$$

Функция принадлежности для данной переменной показана на рис. 4 (условные обозначения: ОБОК — «очень большая отрицательная коррекция», БОК — «большая отрицательная коррекция», СОК — «средняя

Таблица. База правил нечеткого блока управления  
 Table. FLC rules base

$\Delta\varepsilon_v$ $\varepsilon_v$	ОБУ	БУ	МУ	НИ	МВ	БВ	ОБВ
БО	ОБОК	БОК	СОК	МОК	ОМОК	НК	ОМПК
МО	БОК	СОК	МОК	ОМОК	НК	ОМПК	МПК
Н	МОК	ОМОК	ОМОК	НК	ОМПК	ОМПК	МПК
МП	МОК	ОМОК	НК	ОМПК	МПК	СПК	БПК
БП	ОМОК	НК	ОМПК	МПК	СПК	БПК	ОБПК

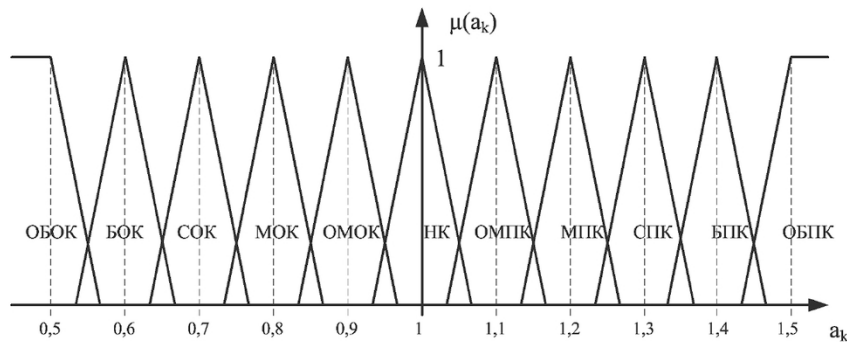


Рис. 4. Функция принадлежности коррекции ускорения  
 Fig. 4. Membership function of acceleration correction





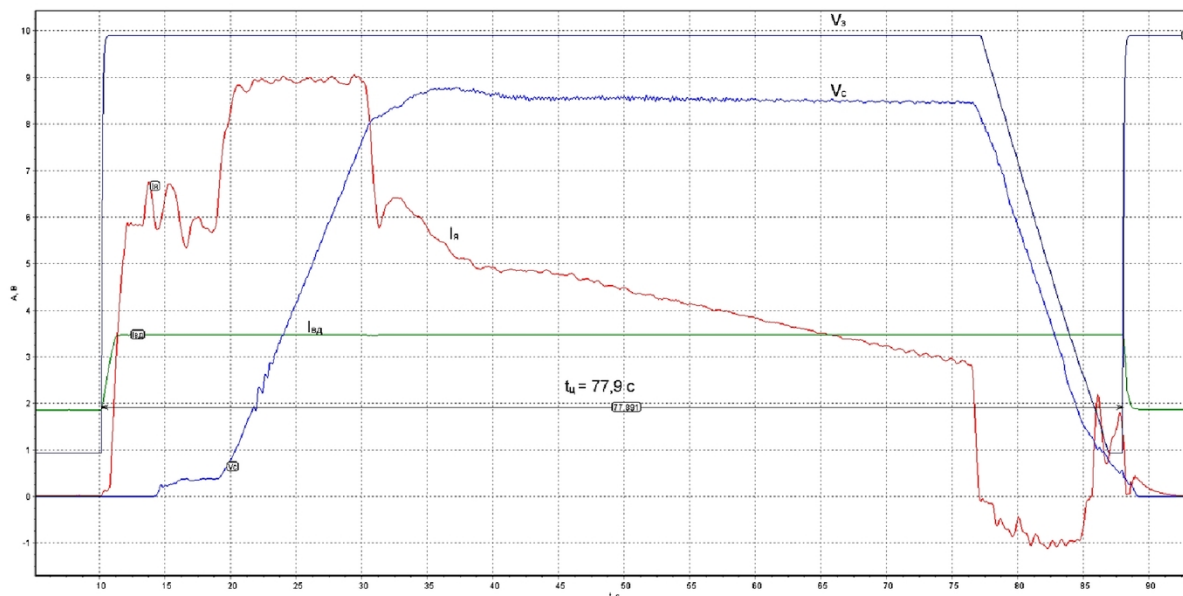


Рис. 7. Осциллограммы подъемной установки с включенным модулем формирования замедления  
Fig. 7. Oscillograms of the mine winder with the deceleration module

включенным. Снятые осциллограммы представлены на рис. 6 и 7 соответственно.

Сравнение осциллограмм показывает, что введение в работу модуля формирования замедления сокращает время цикла подъема почти на десять секунд за счет точного подхода к разгрузочным кривым и практически полного отсутствия участка дотягивания.

#### Заключение

Проверка эффективности предложенного в работе алгоритма на скиповой подъемной установке ствола «Главный» ООО «Абазинский

рудник» г. Абаза показала, что предложенный в настоящей работе алгоритм формирования задания на скорость шахтной подъемной машины на участке замедления, основанный на нечеткой логике, позволяет сократить цикл подъема на 9-10 секунд. Разработанный модуль позволяет достичь точного подхода к разгрузочному устройству вне зависимости от загруженности подъемного сосуда, и изменения параметров системы управления и электрооборудования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клишин, В.И. Расширение минерально-сырьевой базы кузнецкого угольного бассейна [Электронный ресурс] / В.И. Клишин, С.В. Шаكليен, М.В. Писаренко // В сборнике: Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов IV Международная научно-практическая конференция, 2014 г. — с. 37-42 — Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22875161>. — Загл. с экрана. Дата обращения: 10.04.2017 г.
2. Католиков, В. Е. Динамические режимы рудничного подъема [Текст] / В. Е. Католиков, А. Д. Динкель. — М.: Недра, 1995. — 448 с.
3. Гальперин, И. Я. Модернизация электропривода и автоматизация шахтных подъемных установок [Текст] / И.Я. Гальперин, В.Р. Бежок. — М.: Недра, 1984. — 220 с.
4. Островляничик, В. Ю. Автоматический электропривод постоянного тока горно-металлургического производства: Учебное пособие [Текст] / В. Ю. Островляничик. — Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2004. — 383 с.
5. Кубарев, В. А. Система логического управления автоматизированным электроприводом шахтной подъемной установки / Автореф. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук. — Новокузнецк, 2013 г. — 20 с.
6. Fuzzy Logic Based Encoder-less Speed Control of PMSM for Hub Motor Drive [Электронный ресурс] / S. Hr. Aghay Kaboli, A. Mohammadi, Alireza Fallahpour. — Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/311931066>. — Загл. с экрана. Дата обращения: 10.04.2017 г.
7. Adaptive Fuzzy Logic Based Speed control of PMSM / Venkatesh kumar Ramaiah, Dr. Govindaraj Thangavel // Conference: Application of AI Techniques for Hybrid Renewable energy system, Volume: 1, Pg.no:108-113.
8. Speed Control of Brushless Dc Motor Using Fuzzy Logic Controller // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), Volume 10, Issue 6 Ver. I (Nov – Dec. 2015), pp 65-73 DOI:

10.9790/1676-10616573

9. Performance Analysis of Optimization Techniques and Intelligence Techniques for Speed Control of DC Motor [Электронный ресурс] / Vinod Kumar Giri, Santosh Kumar Suman // African Journal of Basic & Applied Sciences 9 (2): 97-104, 2017. — Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/316456041>  
Дата обращения 10.04.2017

10. Нечеткий регулятор в системе управления следящим электроприводом с ограничением по скорости / А. А. Усольцев, Н. А. Смирнов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2011 г., №3. — с. 27-32

11. Бежок В. Р. Руководство по ревизии наладке и испытанию шахтных подъемных установок / Бежок В. Р. и др. — 2-е издание, перераб. и доп. — М.: Недра, 1982. — 391 с.: ил.

12. Блюмин С. Л. Нечеткая логика: алгебраические основы и ее приложения: Монография [Текст] / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова, П. В. Сараев, И. В. Черпаков — Липецк: ЛЭГИ, 2002. — 111 с.

13. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 2013 г. N 599) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://base.garant.ru/70691622/>. — Загл. с экрана. Дата обращения: 10.04.2017 г.

14. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 ноября 2013 г. N 550. Зарегистрирован Минюстом России 31 декабря 2013 г., рег. № 30961) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499060050>. — Загл. с экрана. Дата обращения: 10.04.2017 г.

15. Ротштейн, А.П. Влияние методов дефазификации на скорость настройки нечеткой модели / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба // Кибернетика и системный анализ. — 2002. — №5. — С.169–176

16. Ермаков, И.А. Использование стратегий при программировании систем технологической автоматизации / И.А. Ермаков // В сборнике: Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды четвертой Всероссийской научно-практической конференции, 12-15 октября 2010 г. - Новокузнецк: СибГИУ, 2010. — с. 171-174.

17. Ермаков, И. А. Опыт применения алгоритмов взаимодействия при программировании систем технологической автоматизации / И.А. Ермаков // В сборнике: Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды пятой Всероссийской научно-практической конференции, 20-22 ноября 2012 г. — Новокузнецк: СибГИУ, 2012. - с. 133-140.

18. Программируемый аппарат задания, контроля движения и технологических защит в составе системы управления шахтной подъемной установкой / В. Ю. Островляничик, В. А. Кубарев В.А. // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. — Новокузнецк: Изд-во СибГИУ 2016 г., №3. — с. 309-314

## REFERENCES

1. Klishin V.I., Shaklein S.V., Pisarenko M.V. Rasshirenie mineralno-syrevoy bazy kuznetskogo ugolnogo basseyna [Expansion of The Mineral Resources Base of The Kuznetsk Coal Basin]. Perspektivy innovatsionnogo razvitiya ugolnykh regionov Rossii. Sbornik trudov IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya [In the collection: Perspectives of Innovative Development of The Coal Regions of Russia. Collection of Works IV International Scientific and Practical Conference], 2014. p. 37-42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22875161>.

2. Katolikov V. E, Dinkel A. D. Dinamicheskie rezhimy rudnichnogo podema [Dynamic Regimes of Mine Hoists]. M.: Nedra, 1995. 448 p.

3. Galperin I. Ya., Bezhok V.R. Modernizatsiya elektroprivoda i avtomatizatsiya shakhtnykh podemnykh ustanovok [Modernization of Electric Drive and Automation of Mine Hoisting Installations]. M.: Nedra, 1984. 220 p.

4. Ostrovlyanchik V. Yu. Avtomaticheskii elektroprivod postoyannogo toka gorno-metallurgicheskogo proizvodstva: Uchebnoe posobie [DC-powered Automatic Electric Drive of Mining and Metallurgical Production: Textbook]. Novokuznetsk: SibSIU, 2004. 383 p.

5. Kubarev V. A. Sistema logicheskogo upravleniya avtomatizirovannym elektroprivodom shakhtnoy podmnoy ustanovki [Logic Control System of an Automated Electric Drive of a Mine Hoisting Installation] / C. Sc. Thesis. Novokuznetsk, 2013. 20 p.

6. Fuzzy Logic Based Encoder-less Speed Control of PMSM for Hub Motor Drive. S. Hr. Aghay Kaboli, A. Mohammadi, Alireza Fallahpour. URL: <https://www.researchgate.net/publication/311931066>.

7. Adaptive Fuzzy Logic Based Speed control of PMSM. Venkatesh kumar Ramaiah, Dr. Govindaraj Thangavel. Conference: Application of AI Techniques for Hybrid Renewable energy system, Volume: 1, pp.

108-113.

8. Speed Control of Brushless Dc Motor Using Fuzzy Logic Controller. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), Volume 10, Issue 6 Ver. I (Nov – Dec. 2015), pp. 65-73 DOI: 10.9790/1676-10616573

9. Vinod Kumar Giri, Santosh Kumar Suman. Performance Analysis of Optimization Techniques and Intelligence Techniques for Speed Control of DC Motor. African Journal of Basic & Applied Sciences 9 (2): 97-104, 2017. URL: Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/316456041>

10. Usoltsev A. A., Smirnov N. A. Nechetkiy regulyator v sisteme upravleniya sledyashchim elektroprivodom s ogranicheniem po skorosti [Fuzzy regulator in the control system of a servomotor with speed limitation]. Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta [Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University]. 2011, No 3. pp. 27-32

11. Bezhok V. R. Rukovodstvo po revizii naladke i ispytaniyu shakhtnykh podemnykh ustanovok [Manual on audit of commissioning and testing of mine hoisting installations]. 2-e izdanie, pererab. i dop. M.: Nedra, 1982. 391 p.

12. Blyumin S. L. Nechetkaya logika: algebraicheskie osnovy i ee prilozheniya: Monografiya [Fuzzy logic: algebraic bases and its applications: Monograph]. Lipetsk: LEGI, 2002. 111 p.

13. Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke tverdykh poleznykh iskopaemykh» [Federal rules and regulations in the field of industrial safety "Safety rules for mining and processing of solid minerals"] (utv. prikazom Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskemu i atomnomu nadzoru ot 11 dekabrya 2013 g. N 599) URL: <http://base.garant.ru/70691622/>

14. Federalnye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh» [Federal rules and regulations in the field of industrial safety "Safety Rules in Coal Mines"] (utv. prikazom Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskemu i atomnomu nadzoru ot 19 noyabrya 2013 g. N 550. Zaregistririvan Minyustom Rossii 31 dekabrya 2013 g., reg. № 30961) URL: <http://docs.cntd.ru/document/499060050>

15. Rotshteyn A.P., Shtovba S.D. Vliyanie metodov defazzifikatsii na skorost nastroyki nechetkoy modeli [Influence of defuzzification methods on the tuning speed of fuzzy model]. Kibernetika i sistemnyy analiz [Cybernetics and system analysis]. 2002, No 5. pp. 169–176

16. Ermakov I.A. Ispolzovanie strategiy pri programmirovanii sistem tekhnologicheskoy avtomatiki [The Use of Strategies in The Programming of Technological Automation Systems]. V sbornike: Avtomatizirovannyy elektroprivod i promyshlennaya elektronika: trudy chetvertoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 12-15 oktyabrya 2010 g. [In the collection: Automated Electric Drive and Industrial Electronics: Proceedings of the Fourth All-Russian Scientific and Practical Conference, October 12-15, 2010]. Novokuznetsk: SibSIU, 2010. pp. 171-174.

17. Ermakov I. A. Opyt primeneniya algoritmov vzaimodeystviya pri programmirovanii sistem tekhnologicheskoy avtomatiki [Experience of application of interaction algorithms for programming of technological automation systems]. V sbornike: Avtomatizirovannyy elektroprivod i promyshlennaya elektronika: trudy pyatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 20-22 Noyabrya 2012 g. [In the collection: Automated electric drive and industrial electronics: Proceedings of the Fifth All-Russian Scientific and Practical Conference, November 20-22, 2012]. Novokuznetsk: SibSIU, 2012. pp. 133-140.

18. Ostrovlyanchik V. Yu., Kubarev V.A. Programmiruemyy apparat zadaniya, kontrolya dvizheniya i tekhnologicheskikh zashchit v sostave sistemy upravleniya shakhtnoy podemnoy ustanovkoy [Programmable device for setting, monitoring and technological protection in the mine hoist control system]. Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnykh resursov [High technology of development and use of mineral resources]. Novokuznetsk: SibSIU, 2016. No 3. pp. 309-314

*Поступило в редакцию 29 мая 2017  
Received 29 May 2017*