

ISSN 1999-4125

ВЕСТНИК

КУЗБАССКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

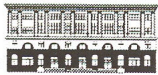
4-17



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

ВЕСТНИК

КУЗБАССКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№4 (122) 2017

Основан в 1997 году
Выходит 6 раз в год
ISBN 5-89070-074-X

Редакционная коллегия:

Кречетов А.А., гл. редактор, к.т.н. (РФ)
Костюк С.Г., зам. гл. ред., к.т.н. (РФ)
Блюменштейн В. Ю., д.т.н. (РФ)
Демирель Нурей, к.т.н. (Турция)
Исмаилов З. Р., член-корреспондент РАН, д.т.н. (РФ)
Каширских В. Г., д.т.н. (РФ)
Клишин В. И., член-корреспондент РАН, д.т.н. (РФ)
Клубович В. В., академик НАН Беларуси, д.т.н. (Беларусь)
Колесников В. Ф., д.т.н. (РФ)
Конторович А. Э., академик РАН, д.т.н. (РФ)
Коротков А. Н., д.т.н. (РФ)
Кузиев Д.А., к.т.н. (РФ)
Малышев Ю. Н., академик РАН, д.т.н. (РФ)
Маметьев Л. Е., д.т.н. (РФ)
Мисников О.С., д.т.н. (РФ)
Першин В. В., д.т.н. (РФ)
Петрик П. Т., д.т.н. (РФ)
Ренев А. А., д.т.н. (РФ)
Серони Аньона, к.т.н. (Кения)
Смирнов А. Н., д.т.н. (РФ)
Фёт Штефан, д.т.н. (Германия)
Хямяляйнен В. А., д.т.н. (РФ)
Цзяо Ви-го, д.т.н. (Китай)
Черкасова Т. Г., д.т.н. (РФ)
Чехлар Михал, к.т.н. (Республика Словакия)
Юй Шен-вэнь, д.т.н. (Китай)
Янчочко Юрай, к.т.н. (Республика Словакия)

Полнотекстовой доступ к электронной версии журнала
на сайте www.elibrary.ru

Подписной индекс П4471 по электронному каталогу российской прессы
«Почта России»

Издатель журнала: ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

© Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, 2017

Уважаемые читатели!

Журнал издается с 1997 г.

Учредителем является Кузбасский
государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева

Журнал зарегистрирован Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и
массовых коммуникаций –
Свидетельство ПИ №77 -060779 от 11
февраля 2015г.

Входит в Перечень ВАК РФ – ведущих
рецензируемых научных журналов и
изданий, в которых должны быть
опубликованы основные научные
результаты диссертаций на соискание
ученых степеней доктора и кандидата
наук. по направлениям 05.02.00
Машиностроение и машиноведение,
05.05.00 Транспортное, горное и
строительное машиностроение,
05.09.00 Электротехника, 05.17.00
Химическая технология, 25.00.00
Науки о Земле

Ответственный редактор -
к.ф.-м.н., профессор кафедры
прикладных информационных
технологий
М.А. Тынкевич

Технический редактор
О.А. Останин

Дизайн обложки
Ю.Е. Волчков, Д.А. Бородин

Адрес редакции:
650000, Кемерово, ул. Весенняя 28,
ФГБОУ ВО «Кузбасский
государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»

Тел.: +7-3842-39-63-14
Сайт: vestnik.kuzstu.ru

Подписано к печати 19.07.2017

Формат 60×84 /8.
Бумага офсетная.
Отпечатано на МФУ
Уч.-изд. л. 26,87.
Тираж 150 экз.

Издательский центр УИП КузГТУ
650000, Кемерово,
ул. Д.Бедного, 4а

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Соколов М.В., Простов С.М.
Геомеханическое обоснование параметров
инъекционного закрепления аварийного грунтового
основания здания
Голик В.И., Разоренов Ю.И., Дзеранов Б.В.
Комбинированная доставка твердеющих смесей на
удаленные участки месторождений
Коларов М.Ф.
Построение пространственных изображений
трещин при использовании альтернативных
методов микросейсмо-мониторинга гидроразрыва
пласта
Козырева Е.Н., Шинкевич М.В.
Проветривание и дегазация выемочного участка
при интенсивном метановыделении из
отрабатываемого пласта и вмещающих пород
Ремезов А.В., Торро В.О., Кузнецов Е.В.,
Климов В.В.
Анализ проявления опорного давления при
нисходящем порядке отработки выемочных столбов
по пласту Толмачёвский
Торро В.О., Ремезов А.В., Кузнецов Е.В.,
Климов В.В.
Анализ инструментальных наблюдений за
конвергенциями в конвейерном штреке 18-8 при
отработке выемочных столбов по пласту
Толмачёвский в восходящем порядке
Масаев Ю.А., Политов А.П., Масаев В.Ю.
Совершенствование технологии возведения
бетонных крепей для подземных горных выработок
Счастливцев Е.Л., Юкина Н.Н.
Формирование территориальных кластеров на реке
Томь по свойствам распространения загрязнений

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Герике П.Б.
Обоснование комплексного подхода к
вибродиагностике в рамках создания методики
испытаний горно-шахтного оборудования

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

- Нетица Ф.С., Ефременко В.М.
Оценка влияния работы устройства регулирования
под нагрузкой на уровень потерь активной
мощности в силовых трансформаторах
Скребнева Е.В., Пустовой В.А.
Выбор автономного источника электроэнергии для
промышленных предприятий на примере ООО ПО
«Химпром»
Кубарев В.А., Корнеев В.А., Галлямова О.Р.
Модуль управления электроприводом шахтной
подъемной машины в режиме замедления на основе
нечеткой логики
Колмаков Н.М., Баховцев И.А.
Коэффициенты гармоник выходных параметров
АИН при гистерезисном управлении по
напряжению
Малахова Т.Ф., Захаренко С.Г., Захаров С.А.,
Кудряшов Д.С., Скребнева Е.В., Балаганский А.О.
Грозовые явления и защита систем
электропитания от атмосферных
перенапряжений

CONTENTS

EARTH SCIENCES

- 5 Sokolov M.V., Prostov S.M.
Geomechanical justification of the parameters for
injection consolidation of hazardous ground foundation
of a building
14 Golik V.I., Razorenov Yu.I., Dzeranov B.V.
Combined delivery of hardening mixtures to remote
deposit sites
20 Kolarov M.F.
Spatial imaging of fractures when using alternative
methods for microseismic monitoring of seam
hydraulic fracturing
28 Kozyreva E.N., Shinkevich M.V.
Ventilation and degassing in the extraction panel with
intensive methane release from the mined seam and
enclosing strata
37 Remezov A.V., Torro V.O., Kuznetsov Ye.V.,
Klimov V.V.
The analysis of manifestation of bearing pressure
at the descending order of extraction panels mining in
seam Tolmachyovsky
47 Remezov A.V., Torro V.O., Kuznetsov Ye.V.,
Klimov V.V.
Analysis of instrumental monitoring of convergences in
conveyor roadway 18-8 during mining of extraction
panels in seam Tolmachyovsky in the ascending order
58 Masaev Yu.A., Politov A.P., Masaev V.Y.
Improving the technology of construction of concrete
supports for underground mine workings
67 Schastlivtsev E.L., Yukina N.I.
Formation of territorial clusters on the tom river by the
properties of pollution spreading

TRANSPORT, MINING, CONSTRUCTION MECHANICAL ENGINEERING

- 76 Gericke Pavel B.
Substantiation of an integrated approach to
vibroanalysis in the framework of creating a test
procedure for mining equipment

ELECTRICAL ENGINEERING

- 84 Nepsha F.S., Efremenko V.M.
Evaluation of the influence of the on-load tap-changing
device on the level of active power losses in power
transformers
90 Skrebneva E.V., Pustovoy V.A.
Selection of an autonomous electric power source for
industrial enterprises on an example of ООО PO
"Khimprom"
94 Kubarev V.A., Korneev V.A., Gallyamova O.R.
Fuzzy logic based module for mine winder electric
drive control in the deceleration state
102 Kolmakov N.M., Bakhovtsev I.A.
Total harmonic distortion of VSI with hysteresis
voltage control
110 Malakhova T.F., Zakharenko S.G., Zakharov S.A.,
Kudryashov D.S., Skrebneva E.V., Balaganskiy A.O.
Lightning storms and protection of power supply
systems against atmospheric overvoltage

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 us 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 истощать [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 САР с обратной связью по ЭДС является системой автоматического регулирования скорости [4]. Система регулирования шахтной подъёмной машины с контуром ЭДС описывается следующим выражением:

$$\left. \begin{aligned} u_{zu} &= \begin{cases} u_{zu}^*, \text{ при } u_{zu} \neq u_z; \\ u_z, \text{ при } u_{zu} = u_z. \end{cases} \\ \frac{du_{zu}^*}{dt} &= \frac{u_p}{T_{zu}}; \\ \frac{du_{pz}}{dt} &= \frac{k_{pz}T_1}{T_u} \left(\frac{du_{zu}}{dt} - \frac{dE}{dt} \right) + \frac{1}{T_u} (k_{pz}u_{zu} - E); \\ \frac{du_{pn}}{dt} &= \frac{k_{pn}T_2}{T_{pn}} \left(\frac{du_{pz}}{dt} - \frac{du_y}{dt} \right) + \frac{1}{T_{pn}} (k_{pn}u_{pz} - u_y); \\ \frac{du_y}{dt} &= \frac{1}{T_z} (k_z i_\delta - u_y); \\ \frac{di_\delta}{dt} &= \frac{1}{T_{mn}} (k_{pn}u_{pn} - i_\delta); \\ \frac{di_y}{dt} &= \frac{1}{T_y} \left(\frac{1}{R_y} (u_y - k\Phi \cdot \omega) - i_y \right); \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{(J_1 + J_2)} (i_y k\Phi - M_{12}); \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

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 Δv и скорость изменения скоростной ошибки $\Delta \Delta v$.

Зависимость максимальной скорости от положения подъёмного сосуда на участке

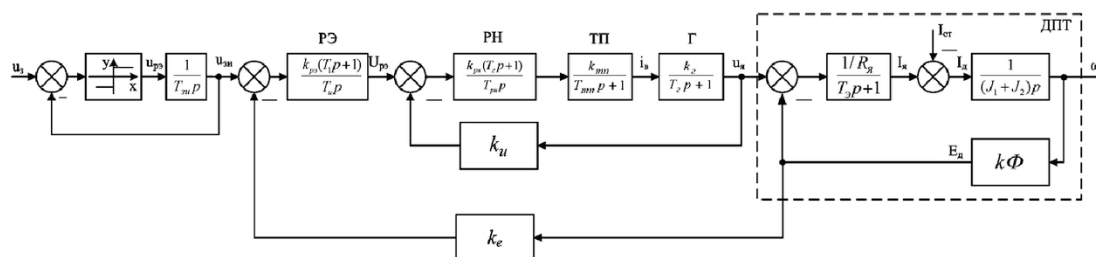


Рис. 1. Блок-схема системы управления подъёмной машиной с электроприводом постоянного тока
Fig. 1. Block diagram of the control system of a mine winder with a DC-powered electric drive

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/с²;

h_c — ntreott 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 (ε_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 (μ_z) и S-линейные (μ_s) функции, определяемые следующими выражениями [12]:

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

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

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

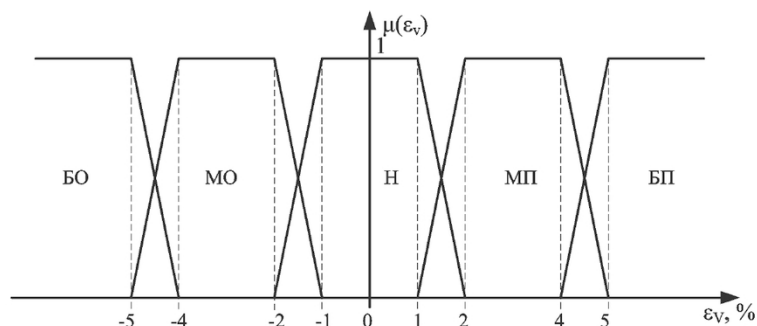


Рис. 2. Функция принадлежности скоростной ошибки

Fig. 2. Membership function of speed error

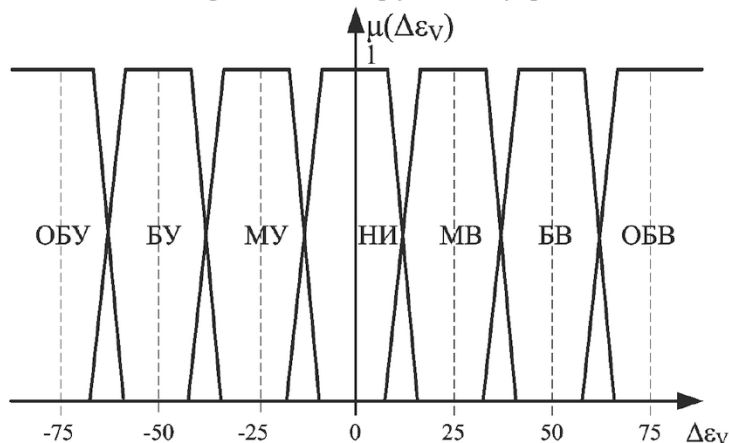


Рис. 3. Функция принадлежности скорости изменения ошибки

Fig.3. Membership function of error change speed

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

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_ε 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:

R₁: Если скоростная ошибка БО и приращение ошибки ОБУ, то коррекция ускорения ОБОК.

R₁₆: Если скоростная ошибка МО и приращение ошибки НИ, то коррекция ускорения ОМОК;

R₁₈: Если скоростная ошибка Н и приращение ошибки НИ, то коррекция ускорения НК.

R₃₅: 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

$\Delta\varepsilon_v$	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

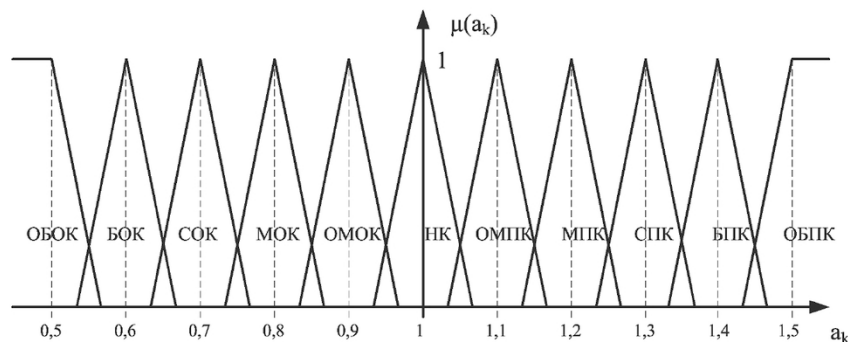


Рис. 4. Функция принадлежности коррекции ускорения
Fig. 4. Membership function of acceleration correction

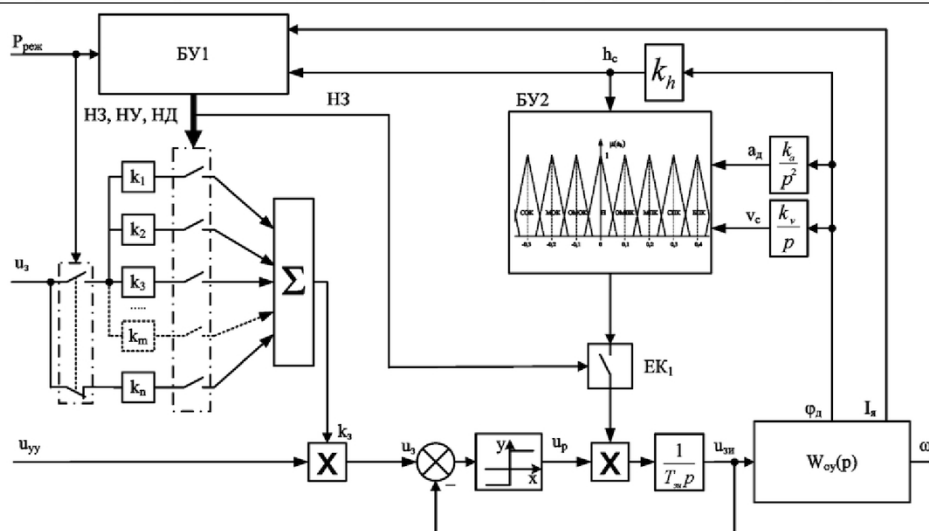


Рис. 5. Блок-схема модуля формирования замедления
Fig. 5. Block diagram of deceleration module

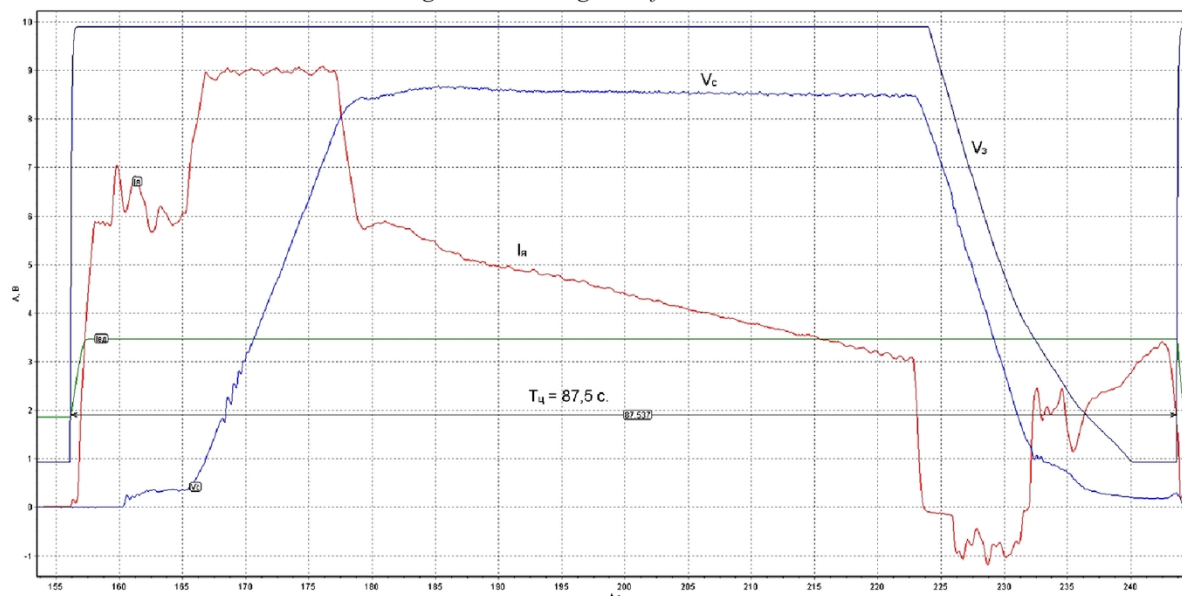


Рис. 6. Осциллограммы подъёмной установки с отключенным модулем формирования замедления
Fig. 6. Oscillograms of the mine winder without the deceleration module

отрицательная коррекция», МОК — «малая отрицательная коррекция», ОМОК — «очень малая отрицательная коррекция», НК — «нет коррекции», ОМПК — «очень малая положительная коррекция», МПК — «малая положительная коррекция», СПК — «средняя положительная коррекция», БПК — «большая положительная коррекция», ОБПК — «очень большая положительная коррекция»).

В качестве метода дефазификации был выбран, как один из наиболее быстрых способов [15], метод центра тяжести:

$$y^* = \frac{\sum y_i B(y_i)}{\sum B(y_i)}$$

На рис. 5 представлена структура системы управления с блоком (БУ1) формирования сигнала

начала замедления и нечетким контроллером (БУ2), компенсирующим отклонение от заданной скорости на участке замедления.

Экспериментальная проверка

На основании представленных выражений с применением методик разработки с использованием стратегий и алгоритмов взаимодействия, изложенных в работах [16, 17] был разработан программный модуль для программируемого аппарата задания, контроля движения и технологических защит [18].

Проверка эффективности предложенного алгоритма проводилась на скиповой подъёмной установке ствола «Главный» ООО «Абазинский рудник» г. Абаза. Были сняты осциллограммы работы подъёмной установки с выключенным модулем формирования замедления и с

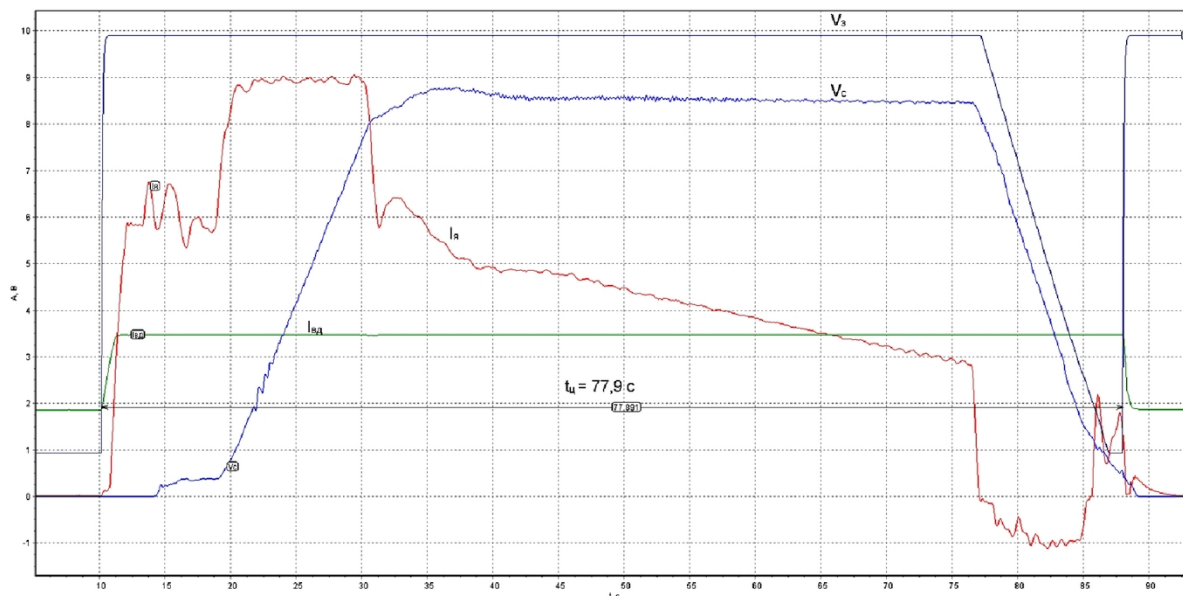


Рис. 7. Осциллограммы подъемной установки с включенным модулем формирования замедления
Fig. 7. Oscillograms of the mine winder with the deceleration module

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.

Закключение

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. Шаклеин, 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 автоматики / 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 автоматики / 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 подъёмной установкой / В. Ю. Островляничик, В. А. Кубарев В.А. // Наукоемкие технологии 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 podmnykh 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. Vliyaniye 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: Avtomatizirovanny 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: Avtomatizirovanny 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*