

УДК 62-83-52:621.3.025.3

И.Ю. Семыкина, В.М. Завьялов

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГОРНЫХ МАШИН

Горные машины отличаются относительно низкой надежностью, что обусловлено тяжелыми условиями их эксплуатации. Одним из путей повышения ресурса горных машин является предложенный в [1] способ подавления упругих колебаний в элементах трансмиссии, уменьшающий их усталостный износ. Для обеспечения требуемой производительности необходимо совместно с подавлением упругих колебаний регулировать скорость движения исполнительного органа.

В силу внутренних связей системы электропривода и стохастического изменяющегося момента сопротивления одно-

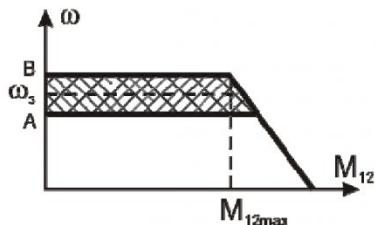


Рис. 1. Желаемая механическая характеристика электропривода горной машины

временно стабилизировать упругий момент и угловую скорость исполнительного органа невозможно. Учитывая, что производительность горной машины определяется средней скоростью движения за промежуток времени, то для обеспечения требуемой производительности достаточно выполнить условие, нахождения скорости исполнительного органа в некоторой допустимой области. На рис. 1 представлена механическая характеристика электропривода горной машины, отвечающая принятым выше требованиям. Величина  $\omega_3$  на механической характеристике соответствует угловой скорости исполнительного органа, при ко-

торой будет обеспечиваться заданная производительность горной машины. Свобода в изменении скорости позволяет формировать внутри заштрихован-

ющей угловую скорость исполнительного органа в заданных пределах. Работа предлагаемого регулятора основана на нечеткой логике [2]. К этому

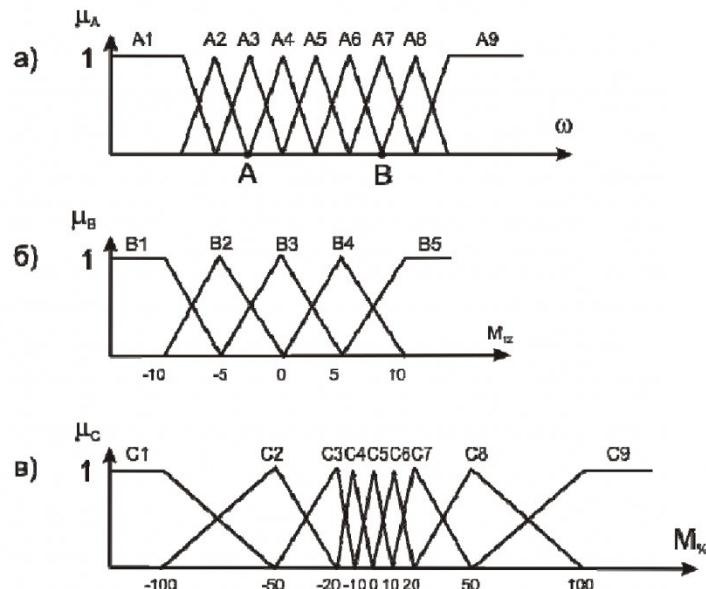


Рис. 2. Функции принадлежности набора лингвистических переменных: а) угловой скорости; б) упругого момента; в) заданного момента трансмиссии

ванной области упругий момент в трансмиссии таким образом, чтобы минимизировать его изменения, вызванные переменной составляющей нагрузки.

Ниже представлен вариант регулятора скорости, работающий совместно с системой подавления упругих колебаний представленной в [1], и поддер-

регулятору были предъявлены следующие требования – он должен переводить угловую скорость  $\omega$  из любой произвольной точки в заданную область, и минимизировать колебательность упругого момента, воздействуя на задающее воздействие для регулятора упругого момента представленного в

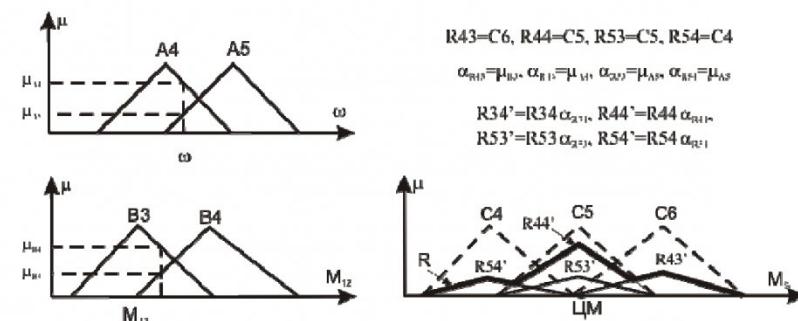


Рис. 3. Принцип формирования логического заключения и выполнения дефазификации

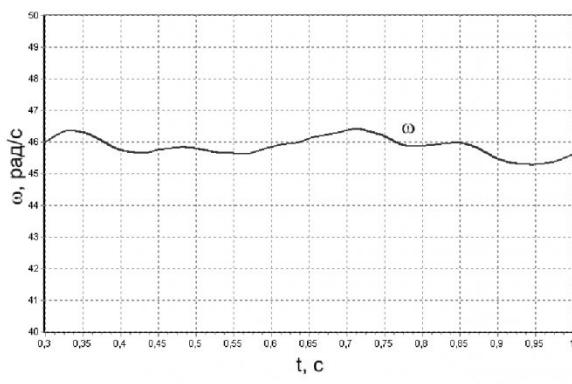
Таблица 1  
Нечеткая база правил

Решение $R_{ij}$	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
B1	C9	C8	C7	C7	C6	C5	C3	C2	C1
B2	C9	C8	C8	C7	C6	C5	C4	C2	C1
B3	C9	C8	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1
B4	C9	C8	C6	C5	C4	C3	C2	C2	C1
B5	C9	C8	C7	C5	C4	C3	C3	C2	C1

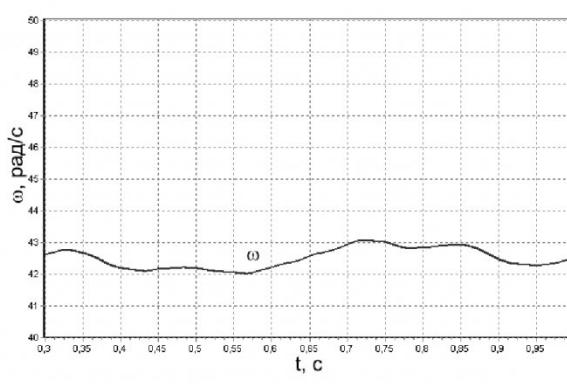
[1], в случае, когда  $\omega$  находится в заштрихованной области (рис. 1). Входными параметрами регулятора скорости являются

граничные значения A и B области, в которой должна находиться угловая скорость  $\omega$ , а также максимально допустимое

значение упругого момента  $M_{12max}$ . В качестве входных воздействий регулятора скорости используются сигналы обратной

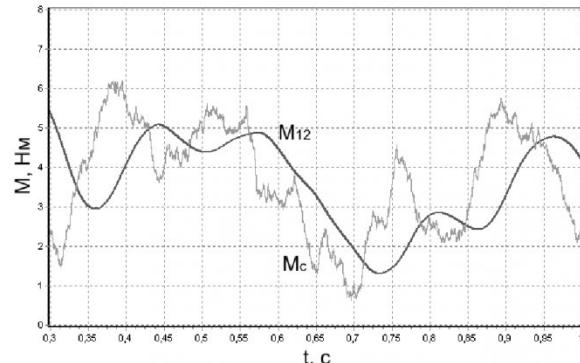


a)

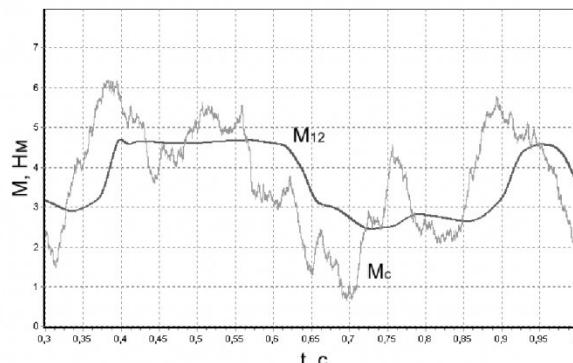


б)

Рис. 4. Переходные процессы скорости: а) при использовании ПИ-регулятора; б) при использовании регулятора основанного на нечеткой логике

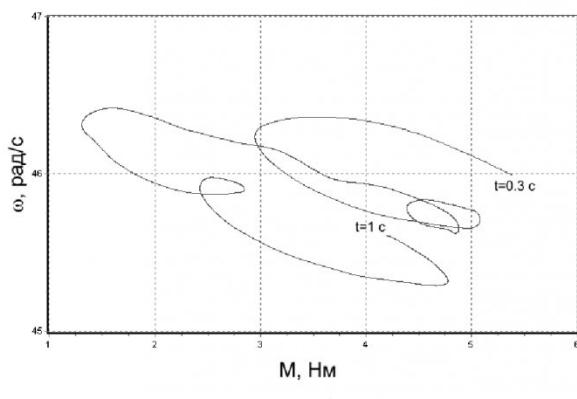


а)

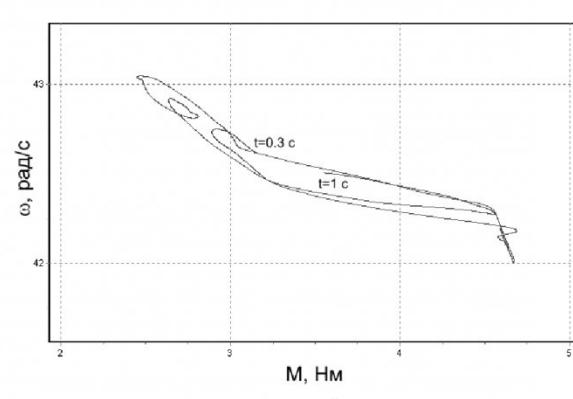


б)

Рис. 5. Переходные процессы упругого момента: а) при использовании ПИ-регулятора; б) при использовании регулятора основанного на нечеткой логике



а)



б)

Рис. 6. Динамические механические характеристики горной машины: а) при использовании ПИ-регулятора; б) при использовании регулятора основанного на нечеткой логике

связи по скорости и упругому моменту. На выходе регулятора формируется заданное значение упругого момента  $M_{\%}$  в процентах от максимально допустимого значения  $M_{12max}$ .

Основную роль в процессе достижения желаемого качества регулирования при проектировании регулятора с нечеткой логикой играют выбор нечеткой декомпозиции входного и выходного пространств, а также правильный выбор функций принадлежности. Так как эти задачи не имеют универсального решения, то при проектировании данного регулятора использовался эвристический метод проб и ошибок, при этом выбор функций принадлежности для набора входных и выходных переменных основан на критерии минимизации сложности вычислений. Входное пространство скорости описывается девятью лингвистическими переменными набора **A**, указывающими положение мгновенной скорости исполнительного органа  $\omega$  относительно границ заданного диапазона, а входное пространство упругого момента – пятью лингвистическими переменными набора **B**, указывающими на его величину и знак. Декомпозиция выходного пространства проводилась согласно декомпозиции входного пространства скорости и описывается девятью лингвистическими переменными набора **C**. Графически выбранные функции принадлежности показаны на рис. 2.. Нечеткая база правил для предлагаемого регулятора показана в табл. 1.

Она обеспечивает принятие такого решения, при котором, в случае больших отклонений угловой скорости от границ

диапазона, управляющее воздействие будет формироваться только на основании лингвистических переменных набора **A**, а в случае нахождения угловой скорости в заданном диапазоне, управляющее воздействие будет изменять величину упругого момента.

Логическое заключение формируется на основе операции нечеткой импликации по Ларсену, т.е. для организации нечеткого вывода используется операция умножения конкретного решения на весовой коэффициент  $\alpha$ , равный минимальному значению функции принадлежности соответствующих входных действий, а общая функция принадлежности определяется путем объединения нечетких подмножеств. Таким образом, можно записать:

$$R = \max_{i,j} [R_{ij} \min(\mu_{A_i}(\omega), \mu_{B_j}(M_{12}))] \quad i = \overline{1,9}, j = \overline{1,5},$$

где  $R$  – общая функция принадлежности решения;  $R_{ij}$  – функция принадлежности каждого решения нечеткой базы правил, т.е. лингвистическая переменная набора **C** для конкретного  $i$  и  $j$ ;  $\mu_{Ai}(\omega_2)$  – значение функции принадлежности  $i$ -ой лингвистической переменной набора **A** для конкретного значения  $\omega_2$ ;  $\mu_{Bj}(M_{12})$  – значение функции принадлежности  $j$ -ой лингвистической переменной набора **B** для конкретного значения  $M_{12}$ . Графически данный процесс показан на рис. 3.

Дефазификация логического заключения в данном регуляторе производится по методу центра масс, что обусловлено меньшей среднеквадратической ошибкой этого метода по срав-

нению, например, с методом максимума. При этом конкретная величина управляющего воздействия вычисляется в соответствии с зависимостью

$$M_{\%} = \frac{\sum_k \mu_R(M_{\%} k) \cdot M_{\%} k}{\sum_k \mu_R(M_{\%} k)}.$$

Для анализа качества управления разработанного регулятора, было проведено его сравнение с ПИ-регулятором, обеспечивающим аналогичное время переходного процесса и перерегулирование. Переходные процессы для систем, управляемых каждым регулятором, полученные методом компьютерного моделирования, показаны на рис. 4 – 6. Сравнительный анализ качества регулирования показал, что ПИ-регулятор обладает худшими свойствами. К его недостаткам можно отнести увеличение перерегулирования в зависимости от нагрузки.

Как видно из рис. 4 – 6, регулятор с применением нечеткой логики, обеспечивает регулирование угловой скорости без выхода за границы заданного диапазона (для исследуемого случая  $A=40$ ,  $B=50$ ) независимо от уровня нагрузки и обеспечивает меньшую колебательность упругого момента по сравнению с ПИ-регулятором.

Таким образом, разработанный регулятор скорости выполняет предъявленные к нему требования, и может быть рекомендован для использования в электроприводах горных машин совместно с регулятором упругого момента, представленным в [1], для повышения их надежности и производительности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялов В.М. Подавление упругих колебаний в горных машинах с двухмассовой расчетной схемой // Вестн. КузГТУ, 2005. – №6 – С.67-69.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.

□ Авторы статьи:

Семыкина  
Ирина Юрьевна  
- аспирант кафедры электропривода  
и автоматизации

Завьялов  
Валерий Михайлович  
- канд.техн.наук, доц. каф. электро-  
привода и автоматизации

**УДК 62-83-52:621.3.025.3**

**И.Ю. Семыкина, В.М. Завьялов, И.А. Куприянов**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ТРАНСМИССИИ ГОРНЫХ МАШИН**

Одним из слабых узлов горных машин с точки зрения надежности является ее трансмиссия. Низкую надежность элементов трансмиссии можно объяснить усталостным износом, обусловленным упругими колебаниями, возникающими под действием нагрузки резкопеременного характера. Подавление этих колебаний является эффективным средством повышения надежности горных машин.

Одним из возможных направлений повышения надежности горных машин является способ, предложенный в [1]. Этот способ направлен на подавление упругих колебаний в горных машинах, трансмиссию которых можно представить двухмассовой механической системой. Математическое описание объекта управления и предлагаемого регулятора имеет следующий вид:

$$\dot{\omega}_1 = \frac{1}{J_1} (M - M_{12}); \quad (1)$$

$$\dot{\omega}_2 = \frac{1}{J_2} (M_{12} - M_C); \quad (2)$$

$$\dot{M}_{12} = C_{12} (\omega_1 - \omega_2); \quad (3)$$

$$M = M_{12} + \frac{J_1}{J_2} (M_{12} - M_C) - J_1 \left( \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \times \\ \times (\omega_1 - \omega_2) - \frac{J_1}{T_1 T_2 C_{12}} (M_{12} - M_{12}^*), \quad (4)$$

где  $\omega_1, \omega_2, J_1, J_2$  – частоты вращения и моменты инерции первой и второй масс;  $M$  – момент сил прикладываемый к системе (управляющее воздействие);  $M_{12}$  – момент упругих сил;  $M_C$  – момент сопротивления (возмущающее воздействие);  $C_{12}$  – коэффициент жесткости упругой связи;  $M_{12}^*$  – желаемое значение момента упругих сил;  $T_1, T_2$  – постоянные времени системы управления.

При условии точного знания всех параметров двухмассовой механической системы и при отсутствии погрешностей в сигналах обратной связи, закон управления (4) обеспечивает высокое качество стабилизации момента.

В отличие от идеализированного случая, в реальных условиях работы параметры системы могут быть заданы с ошибкой, а в сигналах обратных

связей могут присутствовать погрешности. В таких условиях точность стабилизации упругого момента может ухудшиться.

Для анализа влияния погрешностей модели и системы измерения на качество регулирования упругого момента были проведены исследования закона управления (4) с использованием компьютерного моделирования, результаты которого приведены в табл. 1. Для получения точного значения погрешности, анализ чувствительности производился при постоянном моменте сопротивления. Полученные данные можно считать справедливыми для момента сопротивления резкопеременного характера с постоянным математическим ожиданием, поскольку погрешность в этом случае будет изменяться вокруг среднего значения, равного погрешности при постоянном моменте сопротивления.

Анализируя результаты, представленные в табл.1, видно, что существенное влияние на точность стабилизации упругого момента оказывают только погрешности в величинах  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Дополнительный анализ показал, что для этих величин недопустима даже минимальная погрешность, порядка 0,1%. Очевидно, что для работы в реальных условиях, рассмотренный закон управления требует модернизации.

Таблица 1

Влияние неточностей параметров и  
погрешностей измерений на статическую  
точность управления

Влияющая величина	Погрешность, %	Отклонение уставновившегося значения $M_{12}$ , %
$J_1$	+5	+0,24
	-5	-0,26
$J_2$	+5	-0,24
	-5	+0,26
$C_{12}$	+5	0
	-5	0
$\omega_1$	+5	Система становится неустойчивой
	-5	
$\omega_2$	+5	
	-5	
$M_{12}$	+5	-3,85
	-5	+4,16