

УДК 630.361.2

В.В. Побединский, А.И. Попов, Д.А. Василевский

### НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМОГИДРОПРИВОДОМ КОРОСНИМАТЕЛЯ РОТОРНОГО ОКОРОЧНОГО СТАНКА

На основе нечеткого вывода получена функция управления электрогидравлическим усилителем привода короснимателя в зависимости от ошибки регулирования и скорости перемещения короснимателя. Реализация нечеткого вывода выполнена в среде MatLab Fuzzy Logic Toolbox. Получена нечеткая модель, обеспечивающая более качественное автоматическое управление инструментом станка.

**Ключевые слова:** роторный окорочный станок, пневмогидропривод, коросниматель, нечеткие множества, нечеткий вывод, функция принадлежности.

V.V. Pobedinskiy, A.I. Popov, D.A. Vasilevskiy

### THE FUZZY MODEL OF THE DEBARKING TOOL PNEUMOHYDRAULIC DRIVE CONTROL OF ROTARY DEBARKER

The control function of the debarker electro-hydraulic power drive depending on the control error and debarker movement speed is obtained on the basis of the fuzzy inference. The implementation of fuzzy inference is made in the MatLab Fuzzy Logic Toolbox environment. The fuzzy model that provides the better automatic control of the machine tool is received.

**Key words:** rotary debarker, pneumo-hydraulic drive, debarking machine, fuzzy sets, fuzzy inference, membership function.

**Введение.** Процесс обработки лесоматериалов в роторных окорочных станках сопровождается высокими динамическими нагрузками на элементы конструкции, приводящими к снижению надежности станка и качества очистки древесины от коры. Наиболее нагруженным является коросниматель с механизмом режущего инструмента.

В предложенной конструкции автоматически управляемого пневмогидропривода короснимателя [1] система автоматического управления (САУ) построена на дискретном ПИД-регуляторе. Несмотря на преимущества ПИД-регулятора, управление на нечеткой логике по ряду параметров является более совершенным [2–4]. Идея заключается в замене ПИД-регулятора на нечеткий контроллер, а ее реализация включает отдельные исследовательские задачи.

**Цель исследований.** Разработка нечеткого вывода для построения системы автоматического регулирования пневмогидроприводом короснимателя на нечеткой логике.

#### Задачи исследований:

1. Выполнение содержательной постановки задачи управления короснимателем.
2. Выполнение практической реализации задачи нечеткого управления короснимателем.
3. Синтез нечеткой модели управления средствами Fuzzy Logic Toolbox.

#### Содержательная постановка задачи управления короснимателем

В методике проектирования нечетких регуляторов [2–4] содержательная постановка задачи используется для того, чтобы представить эмпирические данные об управлении объектом в форме определенных эвристических правил. В этом случае выполняется описание задачи управления объектом в том виде, как если бы регулирование выполнялось вручную. В настоящей работе эта процедура выполняется одновременно с формированием базы правил системы нечеткого вывода, а в содержательном описании задачи определены наиболее специфические особенности процесса управления короснимателем.

Задача автоматического управления короснимателя при окорке заключается в стабилизации прижима инструмента к поверхности обрабатываемого ствола, который задается пневмоцилиндром. Конструктивно управление обеспечивается гидроцилиндром, связанным со штоком поршня пневмоцилиндра. Корпус последнего соединен с хвостовой частью короснимателя, поворачивающегося на оси подвеса. Таким образом,

при копировании инструментом неровной поверхности лесоматериала коросниматель совершает вращательные движения, смещая при этом корпус пневмоцилиндра относительно поршня. В результате также будет изменяться и начально заданное значение прижима пневмоэлемента. Задачей САУ будет в зависимости от отклонения корпуса пневмоцилиндра выдавать соответствующий ток управления на электрогидравлический усилитель, который посредством гидроцилиндра перемещает поршень и восстанавливает исходное взаимное положение корпуса и поршня пневмоцилиндра. В результате прижим короснимателя в поверхности лесоматериала будет постоянным.

Здесь пневмоцилиндр выполняет одновременно несколько функций:

- обеспечивает заданное усилие прижима инструмента к поверхности лесоматериала;
- является датчиком положения поршня пневмоцилиндра относительно корпуса и, следовательно, перемещения короснимателя;
- гасит высокочастотную составляющую динамических нагрузок на коросниматель, для отработки которых недостаточно быстродействия только одного гидропривода.

Содержательная постановка задачи заключается в следующем. Чтобы обеспечить стабилизацию прижима инструмента в процессе окорки, необходимо учитывать не только величину поворота короснимателя, но и направление его поворота, то есть копирование возвышения (сучки, наплывы, овальность, эксцентриситет ствола) или углубления (гниль, овальность, эксцентриситет ствола), а также скорость поворота короснимателя вокруг оси подвеса при воздействиях со стороны микропрофиля ствола.

Поскольку задачей регулятора является стабилизация положения поршня относительно корпуса пневмоцилиндра, то их взаимное смещение от заданного положения является в данном случае ошибкой регулирования  $\Delta S$ , которое также должно учитываться в виде входного параметра.

В процессе регулирования при максимальных значениях скорости поворота короснимателя и смещения поршня пневмоцилиндра значение управляющего воздействия должно быть также однозначно максимальным.

При крайнем значении скорости поворота короснимателя величина управляющего воздействия будет пропорциональна изменению другого варьируемого значения – степени взаимного смещения поршня относительно корпуса в пневмоцилиндре. Однако нужно учесть, что максимальные значения смещения поршня пневмоцилиндра должны компенсироваться максимальными управляющими воздействиями независимо от скорости поворота короснимателя в этот момент.

Сочетания значений входных параметров, когда один положительный, а второй отрицательный, вполне возможны, так как происходят высокочастотные колебания и САУ должна погасить эти колебания. Управляющее воздействие должно быть направлено в обратную сторону направления смещения поршня. Другим случаем, соответствующим такому сочетанию входных параметров, является локальное изменение микропрофиля на макронеровности поверхности ствола, например, небольшая впадина на наплыве или прохождении пика свилеватой части.

В случаях, когда ошибка близка к нулю, а перемещение короснимателя продолжается с определенной скоростью, управляющее воздействие, также пропорциональное величине скорости, должно быть направлено в обратную сторону скорости перемещения независимо от величины ошибки. Таким образом будет выполняться прогнозирование динамики инструмента.

Используя описание вариантов сочетаний скорости поворота короснимателя и степени смещения поршня пневмоцилиндра, а также специфических особенностей процесса управления, можно формализовать все основные правила нечеткого вывода функции управляющего воздействия на привод короснимателя.

### **Практическая реализация задачи нечеткого управления короснимателем**

Практическую реализацию задачи нечеткого вывода выполняем по известной [2–4] методике, когда вначале выполняется определение функций принадлежности входных и выходных переменных, затем формируется база правил нечеткого вывода, делается нечеткий вывод и приведение к четкости.

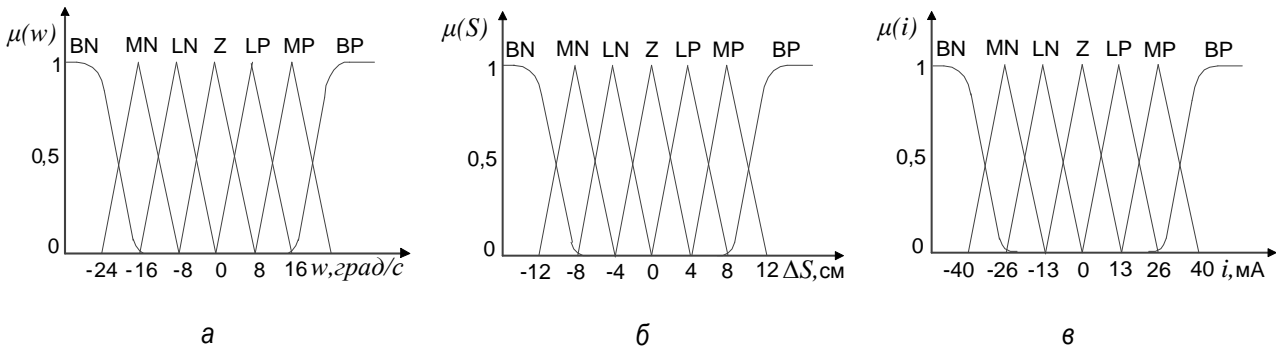
#### **Определение входных и выходных переменных задачи управления (приведение к нечеткости)**

*Входные переменные.* САУ короснимателя собрана на элементной базе регулятора дискретного типа. Также нечеткий вывод регулятора реализован в компьютерном варианте, следовательно, в цифровом виде. Физически это означает, что цифровой опрос входного сигнала выполняется через равные промежутки времени. Если выполняется опрос процесса поворота короснимателя, то изменение величины угла поворота за равные промежутки времени означает одновременно и изменение скорости. Поэтому для упрощения формализации за угловую скорость  $\omega$  можно принять значения угла поворота. В данном случае это диапазон в  $60^\circ$ .

Второй входной параметр – это ошибка  $\Delta S$  регулирования, выраженная величиной полного хода пневмоцилиндра. В данном случае он составляет 0,3 м.

*Выходная переменная.* В качестве выходной величины принимается значение (величина и направление) тока управления  $i$ , подаваемого от САУ на ЭГУ. Изменение тока управления МЭП электрогидравлического усилителя для гидроаппаратуры настоящей конструкции в диапазоне от минус 40 мА до плюс 40 мА приводит к полному рабочему ходу короснимателя (повороту вокруг оси подвеса), что будет составлять около  $60^\circ$ .

Определим нечеткие функции принадлежности параметров процесса. Будем полагать, что термножества значений лингвистических переменных представлены треугольными нечеткими числами, а на границах области определения сигмоидальными нечеткими интервалами (рис. 1). Выбор сигмоидальных функций вместо традиционно используемых трапецеидальных позволяет получить более сглаженную результирующую функцию. На рисунке 1,а,б показаны функции принадлежности входных переменных «Угловая скорость» и «Ошибка регулирования», а на рисунке 1,в приведена нечеткая функция лингвистической выходной переменной «Ток управления».



а б в  
Рис. 1. Нечеткие функции принадлежности лингвистических переменных:  
а – «Угловая скорость»; б – «Ошибка регулирования»; в – «Ток управления»

Во многих случаях при решении подобных задач [3–4] на универсуме нечеткого множества принимаются минимальное значение функции принадлежности, равное трем, что позволяет обойтись небольшим объемом базы правил. Но в таких случаях в зависимости от размерности параметров выходная величина аппроксимируется менее гладкой ступенчатой функцией. Для повышения точности рекомендуется увеличивать количество значений каждой лингвистической переменной и принимать их в диапазоне от 3 до 7 [4]. В данном случае будет целесообразно принять семь значений входных и выходной лингвистических переменных.

В качестве обозначений лингвистических переменных для предложенных функций приняты следующие значения: «Большое отрицательное» – BN; «Среднее отрицательное» – MN; «Малое отрицательное» – LN; «Ноль» – Z; «Малое положительное» – LP; «Среднее положительное» – MP; «Большое положительное» – BP.

В терминах теории нечетких множеств лингвистические переменные определены термножествами со следующие значениями:

- «Угловая скорость,  $w$ » { $w_{BN}$ ,  $w_{MN}$ ,  $w_{LN}$ ,  $w_Z$ ,  $w_{LP}$ ,  $w_{MP}$ ,  $w_{BP}$ };
- «Ошибка регулирования,  $\Delta S$ » { $S_{BN}$ ,  $S_{MN}$ ,  $S_{LN}$ ,  $S_Z$ ,  $S_{LP}$ ,  $S_{MP}$ ,  $S_{BP}$ };
- «Ток управления,  $i$ » { $i_{BN}$ ,  $i_{MN}$ ,  $i_{LN}$ ,  $i_Z$ ,  $i_{LP}$ ,  $i_{MP}$ ,  $i_{BP}$ }.

### Формирование базы правил системы нечеткого вывода

Составим базу правил нечеткой продукции для вывода функции принадлежности в матричной форме. В полном объеме база правил приведена в таблице.

#### Состав базы правил нечеткой продукции

Значения лингвистической переменной «Угловая скорость, $w$ »	Значения выходных нечетких подмножеств «Ток управления, $i$ » при изменении нечеткой функции «Ошибка регулирования, $\Delta S$ »						
	SBN	SMN	SLN	SZ	SLP	SMP	SBP
$w_{BN}$	$i_{BN}$	$i_{MN}$	$i_{LN}$	$i_Z$	$i_{MN}$	$i_{LN}$	$i_Z$
$w_{MN}$	$i_{BN}$	$i_{MN}$	$i_{LN}$	$i_Z$	$i_{LN}$	$i_Z$	$i_{MP}$
$w_{LN}$	$i_{BN}$	$i_{MN}$	$i_{LN}$	$i_Z$	$i_Z$	$i_{MP}$	$i_{MP}$
$w_Z$	$i_{BN}$	$i_{MN}$	$i_{LN}$	$i_Z$	$i_{LP}$	$i_{MP}$	$i_{BP}$
$w_{LP}$	$i_{MN}$	$i_{MN}$	$i_Z$	$i_Z$	$i_{LP}$	$i_{MP}$	$i_{BP}$
$w_{MP}$	$i_{MN}$	$i_Z$	$i_{LP}$	$i_Z$	$i_{LP}$	$i_{MP}$	$i_{BP}$
$w_{BP}$	$i_Z$	$i_{LP}$	$i_{MP}$	$i_Z$	$i_{LP}$	$i_{MP}$	$i_{BP}$

Синтез нечеткой модели управления средствами Fuzzy Logic Toolbox

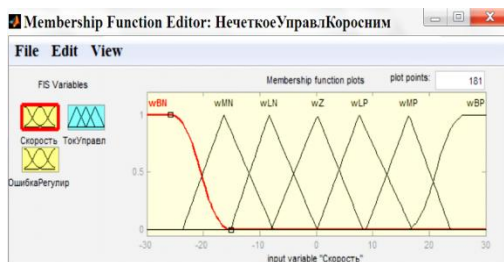
Изложенная формальная постановка задачи нечеткого вывода позволяет реализовать ее в специализированных компьютерных программах.

Реализация задачи нечеткого вывода выполнена в среде FIS Editor (рис. 2) приложения MatLab Fuzzy Logic Toolbox [5].

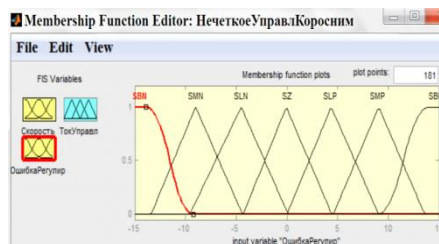
В данном случае использовался алгоритм по известной методике [2–4]:

- 1) фаззификация (введение нечеткости) (рис. 2,а,в);
- 2) формирование базы правил нечеткой продукции (рис. 2,г);
- 3) нечеткий вывод (рис. 2,д);
- 4) дефаззификация (приведение к четкости) (рис. 2,е).

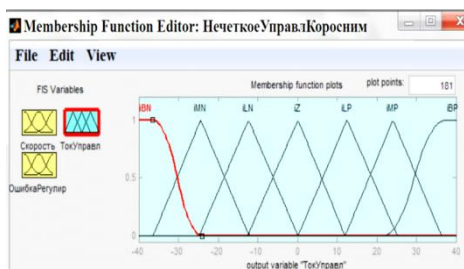
Результирующая функция нечеткого вывода автоматического управления пневмогидроприводом изображена на рис. 2,е.



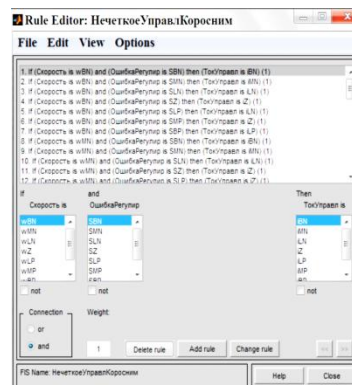
а



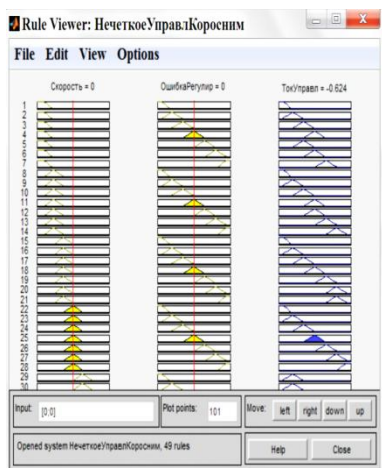
б



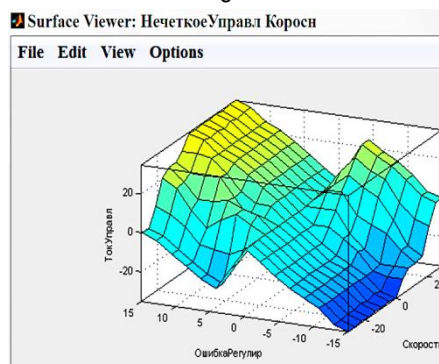
в



г



д



е

Рис. 2. Нечеткий вывод в среде FIS Editor приложения MatLab:

а – нечеткая функция принадлежности переменной «Угловая скорость»; б – нечеткая функция принадлежности переменной «Ошибка регулирования»; в – нечеткая функция принадлежности лингвистической переменной «Ток управления»; г – база правил нечеткого вывода; д – процедура нечеткого вывода и приведения к четкости; е – функция нечеткого вывода

### Выводы

1. Использование теории нечетких множеств для задач управления позволяет разрабатывать более совершенные системы автоматического регулирования рабочими органами окорочного станка.
2. Полученная нечеткая модель обеспечивает более качественное автоматическое управление с прогнозированием ошибки регулирования, скорости и направления перемещения инструмента окорочного станка.
3. Адекватность предложенной модели обеспечивается корректностью постановки задачи и выполнения нечеткого вывода на основе известных методик, а также использованием лицензионного программного обеспечения системы MatLab.

### Литература

1. *Побединский В.В., Берстнев А.В.* Коросниматель с пневмогидроприводом // Вестн. КрасГАУ. – № 7. – С. 126–130.
2. *Пегат А.* Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ, 2009. – 798 с.
3. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MatLab и fussyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. *Васильев В.И., Ильясов Б.Г.* Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие. – М.: Радиотехника, 2009. – 393 с.
5. MATLAB® & Simulink® Release Notes for R2008a [Электронный ресурс] //www.mathworks.com.

