

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

In paper are observed questions of simulation a processes of a woodworking in conditions uncertainties of parameters of the system the rig - the adaptation - the tool - a detail . For construction of model of process of cutting of wood is used the mathematical device of the theory of fuzzy logic. Parameters of functions of an accessory are searched on the basis of expert estimations. Modelling of the system describing process of cutting on the basis of the theory of fuzzy logic, is spent in system MATLAB.

Введение. Резание древесины и древесных материалов является одним из наиболее широко распространенных приемов механической обработки. Для выполненных приемов обработки древесины на данном этапе развития деревообрабатывающей промышленности и станкостроения предусматривается широкое использование современных технологий с применением оборудования, работающего в автоматическом режиме с использованием следящих систем, и постепенный переход к производству на базе роботизированных комплексов.

Автоматическое управление гибкими производствами, оснащенными современным оборудованием, возможно лишь при использовании вычислительной техники с современным программным обеспечением. Сдерживающим фактором на пути переоснащения предприятий автоматическими системами управления производством является отсутствие алгоритмов программного управления деревообрабатывающим оборудованием.

Данные алгоритмы должны базироваться на теоретических и экспериментальных взаимосвязях переменных величин и выходных показателей процесса резания.

В большинстве работ выбор режима резания (фрезерования) осуществляется заранее до начала работы деревообрабатывающего станка и не меняется в процессе проведения технологического цикла. Как правило, режим работы станка соответствует условиям резания, определяющим долговечность работы инструмента. Если условия резания древесины неблагоприятны, инструмент выходит из строя значительно быстрее; случается, через несколько часов, а то и минут работы.

Основная часть. Известно, что процесс резания (ПР) является стохастическим, что обусловлено воздействием ряда возмущающих воздействий на систему станок – прибор – инструмент – деталь (СПИД). Для элемента «станок» возмущающими воздействиями могут быть: подача, скорость, глубина резания, температура. Для элемента «прикосновение» возмущающими воздействиями могут быть: геометрическая точность, жесткость, точность установки. Для элемента «инструмент» возму-

щающими воздействиями могут быть: точность, жесткость, износ, затупление. Для элемента «деталь» – плотность, влажность, механические свойства.

Большинство из этих возмущений неконтролируемые и относятся либо к «внутренним» возмущениям объекта (процесса резания), либо связаны с измерительной системой [1].

Кроме того, некоторые параметры системы СПИД имеют скачкообразный характер изменения, что накладывает дополнительные требования при моделировании процесса резания.

Таким образом, ПР является сложной стохастической системой, подверженной в общем случае случайным воздействиям с априори неопределенным законом распределения.

Учитывая, что ПР древесины не поддается точному теоретическому описанию, построение математических моделей обычно ведут с использованием статистическо-экспериментальных методов. Для этой цели используют теорию планирования эксперимента. Применение активных и пассивных экспериментов позволяет получить зависимость выходной величины от различных воздействий $y = f(x_i)$ в виде уравнений регрессии. Это особенно эффективно при оценке количественных и качественных показателей технологических процессов деревообработки.

Однако зачастую применение подобных статистическо-экспериментальных методов не позволяет получить достоверную математическую модель из-за большой неопределенности взаимодействий элементов системы СПИД.

Развивающиеся в последнее время методы обработки информации в условиях значительной неопределенности параметров исследуемого процесса позволяют сделать еще один шаг в направлении моделирования сложных систем.

К таким методам относится теория нейронных сетей и теория нечетких множеств [2, 3].

Для построения модели ПР древесины воспользуемся математическим аппаратом теории нечетких множеств.

Понятие нечеткости интуитивно понятно каждому человеку, но его формализация всегда вызывала трудности. Долгое время считалось: все, что требуется для работы с неопределенно-

стью, это теория вероятностей. Однако по мере того как в область наших интересов стали попадать вопросы, связанные с восприятием мира живыми существами, и в частности человеком, (в основном это относится, конечно, к работам в области искусственного интеллекта), адекватность теории вероятностей начала вызывать сомнения.

Неопределенность можно классифицировать следующим образом:

- первого рода – возникающая из вероятностного поведения физической системы;
- второго рода – связанная с нечеткостью рассуждений и восприятия.

Впервые попытка формализовать второй подход была предпринята профессором Лотфи Заде (Lotfi Zadeh), опубликовавшем в 1965 г. основополагающую работу «Fuzzy Sets» в журнале «Information and Control». Началом практического применения теории нечетких множеств можно считать 1975 г., когда Мамдани и Ассилиан (Mamdani and Assilian) построили первый нечеткий контроллер для управления простым паровым двигателем. В 1982 Холмblad и Остергад (Holmblad and Osregaad) разработали первый промышленный нечеткий контроллер, который был внедрен в управление процессом обжига цемента на заводе в Дании. Успех первого промышленного контроллера, основанного на нечетких лингвистических правилах «если – то», привел к всплеску интереса к теории нечетких множеств среди математиков и инженеров. Несколько позже Бартоломеем Коско (Bart Kosko) была доказана теорема о нечеткой аппроксимации (Fuzzy Approximation Theorem), согласно которой любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике. Другими словами, с помощью естественно-языковых высказываний-правил «если – то», с последующей их формализацией средствами теории нечетких множеств, можно сколько угодно точно отразить произвольную взаимосвязь «входы – выход»

без использования сложного аппарата дифференциального и интегрального исчисления, традиционно применяемого в управлении и идентификации.

Нечеткая логика ближе по духу к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционные логические системы. Она обеспечивает эффективные средства отображения неопределенностей и неточностей реального мира.

Структурная схема системы для построения модели на основе нечетких множеств приведена на рис. 1.

Системы нечетких рассуждений состоят из пяти функциональных блоков:

- 1) Блок фаззификации, преобразующий численные входные значения в степени соответствия лингвистическим переменным.
- 2) База правил, содержащая набор нечетких правил типа «если – то».
- 3) База данных, в которой определены функции принадлежности нечетких множеств, используемых в нечетких правилах.
- 4) Блок принятия решений, совершающий операции вывода на основании имеющихся правил.
- 5) Блок дефаззификации, преобразующий результаты вывода в численные значения.

Традиционно база правил и база данных объединяются в общий блок – базу знаний. Процедура нечеткого рассуждения включает в себя следующие операции:

- 1) преобразование входных сигналов в значения принадлежности лингвистических переменных (этап фаззификации);
- 2) сопоставление значений принадлежности различных входных переменных (оператор \min или произведение) для получения веса каждого правила;
- 3) определение выходных нечетких значений от каждого правила;
- 4) преобразование значений принадлежности выходных переменных в единый численный сигнал.

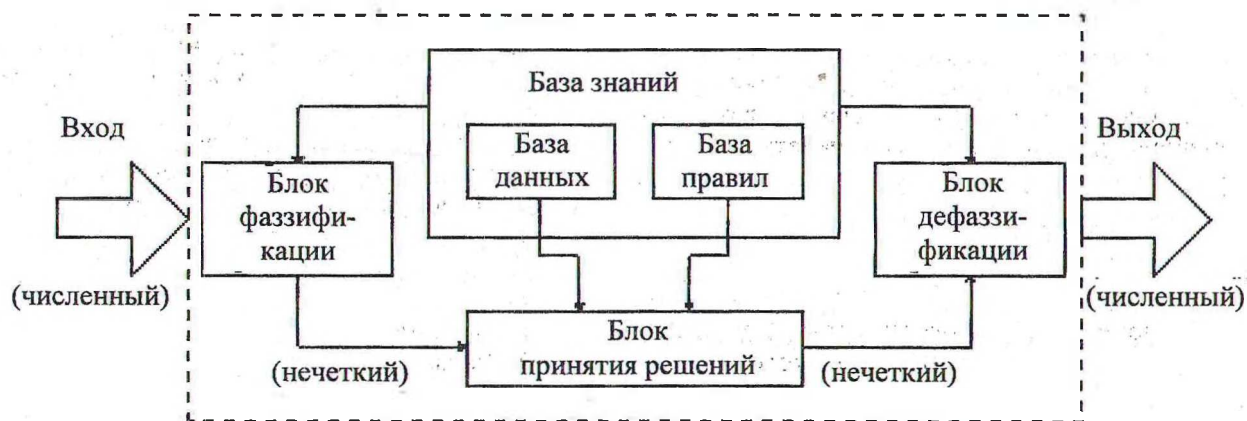


Рис. 1

При составлении модели ПР на основе теории нечетких множеств примем в качестве входных переменных радиус затупления режущей кромки (ρ) и диаметр сучков на примере древесины березы (d).

Хорошо известно, что даже тщательно заточенные лезвия не являются абсолютно острыми – их режущие кромки, образованные пересечением передней и задней поверхностей, представляют собой не линию, а переходную поверхность радиуса r_0 . В процессе резания рабочая часть лезвия изнашивается по передней и задней поверхностям и режущей кромке. Чем больше наработка лезвия, тем больше величины радиуса затупления r .

Формула, описывающая изменение радиуса режущей кромки, имеет вид

$$r = r_0 + \Delta r,$$

где r_0 – начальный радиус затупления.

$$\Delta r = \gamma L,$$

где L – путь контакта; γ – прирост Δr на 1 м пути контакта.

Увеличение радиуса затупления сопровождается уменьшением режущей способности лезвия и ухудшением оценочных параметров процесса резания: повышением сил и мощности резания, температуры в зоне резания, вибраций, ухудшением качества обработки (шероховатости обработанной поверхности, длины сколов, точности получаемой детали и т. п.). Таким образом, учет изменения радиуса затупления очень важен для правильного выбора режима резания древесины.

Однако в реальных условиях резания древесины, когда случайным образом меняются температура режущего инструмента, плотность и влажность древесины, данная формула не может адекватно описать процесс затупления.

В терминах теории нечетких множеств введем лингвистическую переменную «радиус затупления режущей кромки» [4]. Эта лингвистическая переменная может принимать следующие значения:

- 1) большой радиус затупления (40 мкм);
- 2) средний радиус затупления (23 мкм);
- 3) малый радиус затупления (6 мкм).

В качестве функции принадлежности правил выберем функцию гауссовского типа, получившую распространение в нечетких сетях. Она описывается формулой

$$\mu_A(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - c}{\sigma} \right)^2 \right]$$

и оперирует двумя параметрами: σ и c . Параметр c обозначает центр нечеткого множе-

ства, а параметр σ отвечает за крутизну функции.

Подбор функций принадлежности может вестись двумя способами. В первом случае эксперты устанавливают меры условия и следствия, а также формулируют правила в виде нечетких высказываний и система функционирует в экспертном режиме. Данный подход имеет недостаток, заключающийся в субъективности мнений экспертов. При наличии достаточного количества данных, связывающих входные и выходные параметры нечеткой системы, параметры функций принадлежности можно найти в процессе обучения [5].

Получим параметры функции принадлежности на основе экспертных оценок. На рис. 2 представлен их вид.

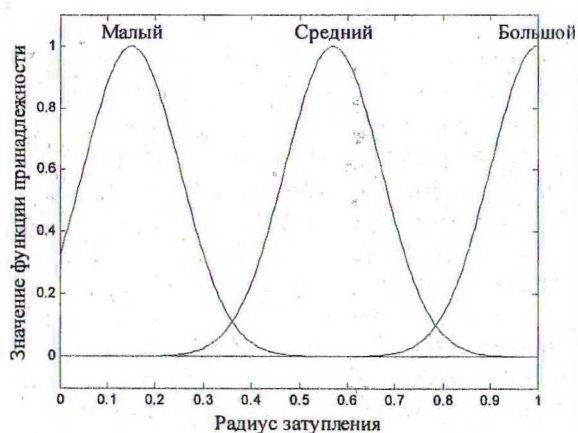


Рис. 2

Существует ряд статистических совокупностей, описывающих диаметр сучков и их количество для древесины различных пород. Для березы такая статистика приведена в таблице.

В термины теории нечетких множеств введем «диаметр сучка». Эта лингвистическая переменная может принимать следующие значения:

- 1) большой диаметр (50 мм и более);
- 2) средний диаметр (20–25 мм);
- 3) малый диаметр (5–10 мм).

Выбор функций принадлежности и подбор их параметров такой же, как и в предыдущем случае.

На рис. 3 представлен их вид.

В качестве выходной лингвистической переменной примем удельную силу резания. Она может принимать следующие значения:

- 1) очень большая;
- 2) большая;
- 3) средняя;
- 4) малая.

Таблица

Диаметр сучка, мм	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50 и более
Число сучков	166	284	124	205	90	62	24	31	11	3

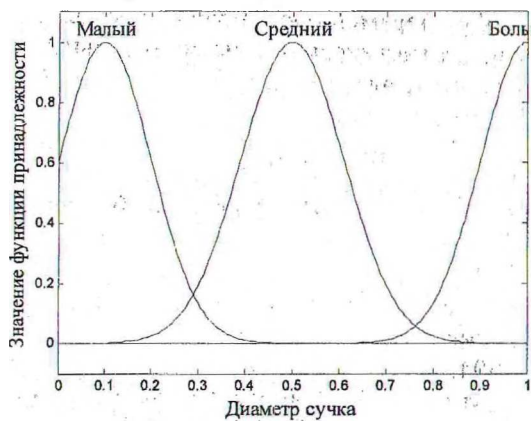


Рис. 3

Выбор функций принадлежности и подбор их параметров аналогичен входным лингвистическим переменным.

На рис. 4 представлен их вид.

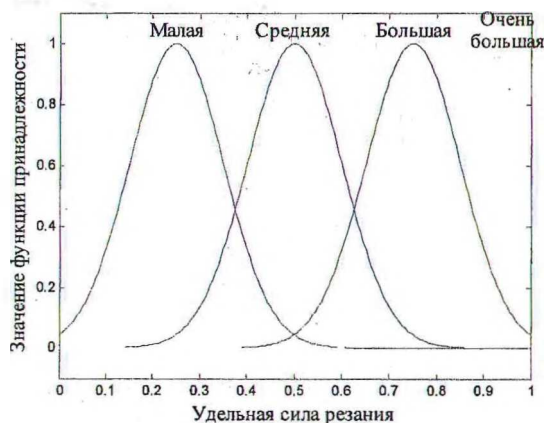


Рис. 4

Лингвистические входные и выходные переменные связаны с помощью базы правил. В нашем случае она имеет следующий вид:

1. Если радиус затупления большой и диаметр сучка большой, то сила резания очень большая.

2. Если радиус затупления большой, а диаметр сучка средний, то сила резания большая.

3. Если радиус затупления большой, а диаметр сучка малый, то сила резания средняя.

4. Если радиус затупления средний, а диаметр сучка большой, то сила резания большая.

5. Если радиус затупления средний и диаметр сучка средний, то сила резания большая.

6. Если радиус затупления средний, а диаметр сучка малый, то сила резания малая.

7. Если радиус затупления малый, а диаметр сучка большой, то сила резания большая.

8. Если радиус затупления малый, а диаметр сучка средний, то сила резания средняя.

9. Если радиус затупления малый, а диаметр сучка средний, то сила резания малая.

Моделирование системы, описывающей процесс резания на основе теории нечетких множеств, проведем в системе MATLAB. Для этого воспользуемся инструментарием такого раздела MATLAB, как Fuzzy Logic Toolbox [6].

Основные команды, используемые для составления программы, следующие:

- Addvar – задание новой лингвистической переменной;
- Addmf – задание функции принадлежности;
- RuleList – задание базы правил, связывающих входные и выходные лингвистические переменные.

Пример программы приведен ниже.

```

clc, clear
a=newfis('PR');
a=addvar(a,'input','radius p',[0 1]);
a=addmf(a,'input',1,'low','gaussmf',[0.1 0.15]);
a=addmf(a,'input',1,'medium','gaussmf',[0.1 0.57]);
a=addmf(a,'input',1,'big','gaussmf',[0.1 1]);
a=addvar(a,'input','diameter of a knot',[0 1]);
a=addmf(a,'input',2,'low','gaussmf',[0.1 0.1]);
a=addmf(a,'input',2,'medium','gaussmf',[0.11 0.5]);
a=addmf(a,'input',2,'big','gaussmf',[0.1 1]);
a=addvar(a,'output','force of cutting',[0 1]);
a=addmf(a,'output',1,'low','gaussmf',[0.1 0.25]);
a=addmf(a,'output',1,'medium','gaussmf',[0.1 0.5]);
a=addmf(a,'output',1,'big','gaussmf',[0.1 0.75]);
a=addmf(a,'output',1,'very big','gaussmf',[0.1 0.95]);
ruleList=[1 1 1 1 1;1 2 2 1 1;1 3 3 1 1;2 1 1 1 1;2 2 3 1 1;2 3 3 1 1;3 1 2 1 1; ...
          3 2 3 1 1 ; 3 3 4 1 1]
a=addrule(a,ruleList)
showrule(a)
showfis(a)
plotmf(a,'input',1)
figure(2)
plotmf(a,'input',2)
figure(3)
plotmf(a,'output',1)
figure(4)
gensurf(a)

```

На рис. 5 представлен результат визуализации системы, описывающей процесс резания в терминах теории нечетких множеств. Здесь по осям x и y откладываются лингвистические переменные «диаметр сучка» и «радиус затупления», а по оси z – «сила резания».

На основе промоделированной нечеткой системы, описывающей процесс резания, может быть сгенерирована матрица, которую можно использовать в блоке «Fuzzy Logic Controller» среды Simulink для построения нечеткой системы управления.

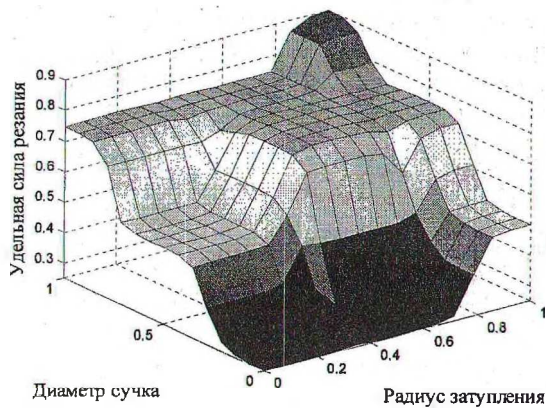


Рис. 5

Заключение. Таким образом, использование математического аппарата теории нечетких множеств для построения модели ПР древесины позволяет учесть значительную неопределенность взаимодействий элементов системы СПИД.

При этом для определения параметров функции принадлежности, описывающей линг-

вистическую переменную, можно воспользоваться как статистическо-экспериментальными методами, так и алгоритмами обучения на основе нейронных сетей.

Литература

1. Коротков, В. И. Деревообрабатывающие станки / В. И. Коротков. – М.: Высшая школа, 1991.
2. Валландер, Н. Нечеткие множества. Нечеткая логика / Н. Валландер. – М.: Высшая школа, 2004.
3. Круглов, В. В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001.
4. Заде, Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. – М.: Мир, 1976.
5. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982.
6. Леоненков, А. Н. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. Н. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.