

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫМИ МОДЕЛЯМИ И УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

tanduun@mail.ru

Дуюн Т.А., д-р техн. наук, доц.,
Рубанов В.Г., д-р техн. наук, проф.,
Гринек А.В., канд. техн. наук, доц.,
Хуртасенко А.В., канд. техн. наук, доц.,
Лесунов М.Е., магистрант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Показаны результаты конечно – элементного моделирования процесса наружного продольного точения на высоких скоростях. Выявлены критические точки значений температуры на поверхности заготовки в зависимости от скорости резания в диапазоне 100–550 м/мин. Проведена аппроксимация результатов моделирования нейронными сетями в пакете Neural Network Toolbox расширения MATLAB на примере элементарных связей между продольной подачей, скоростью резания и температурно-силовыми характеристиками процесса резания. Использование нейронных сетей в качестве аппроксимирующей функций для описания результатов конечно-элементного моделирования дает хорошую сходимость и возможность многопараметрической оптимизации технологических режимов. На примере показана возможность использования нечетких моделей при построении систем управления процессом резания.

Ключевые слова: математическое моделирование, механическая обработка, технологический процесс, численные модели, нечеткая логика, нейронная сеть

Научные исследования по тематике гранта №14-41-08044 вызваны необходимостью фундаментальных исследований технологических процессов механической обработки и теоретического обоснования новых подходов к управлению процессами резания. В рамках выполнения проекта предложен подход к разработке теоретических основ и методологии определения параметров состояния поверхностного слоя изделия и управления им при механической и отделочно-упрочняющей обработке, основанный на интегральном сочетании математического моделирования температурного поля и поля

механических напряжений в зоне резания с автоматическим управлением режимами резания, что требует применения методов численного моделирования упруго-пластических деформаций для изотропных и анизотропных материалов.

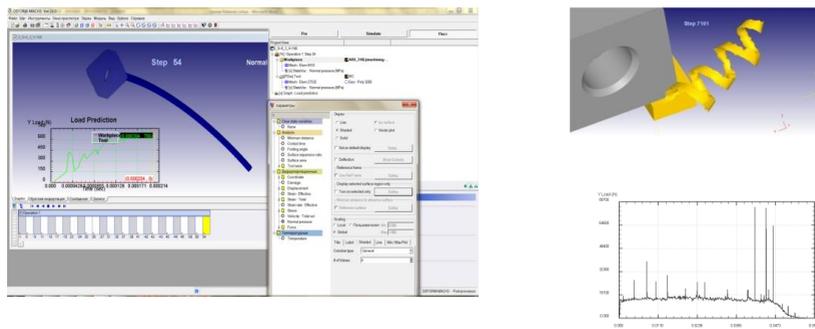


Рисунок 1 – Конечно-элементное моделирование процесса стружкообразования

На основе проведенного численного моделирования динамики процесса резания определена сложная взаимосвязь между технологическими режимами и температурно-силовыми параметрами в зоне резания (рис. 1).

Выявлены критические области значений температуры и силы резания на поверхности обрабатываемых деталей в высокоскоростных диапазонах скорости резания. Конечно-элементное моделирование позволило получить информацию о взаимосвязях управляющих воздействий, регулируемых параметров и выходных показателей качества.

В результате решения набора численных задач была определена база данных параметров разрушения в зоне резания, в том числе, параметры, не поддающиеся прямому измерению, но косвенно влияющие на качество поверхностного слоя. Определена база данных значений входных и выходных параметров для обучения нейронной сети и для разработки базы нечетких правил, определения конфигурации нечеткого регулятора и выработки требований к управляемым параметрам. Полученные по конечно-элементной модели результаты подтверждают ранее полученные данные о наличии оптимального значения скорости резания, показывающие наличие точки

экстремума в зоне «высоких скоростей» и уменьшение температуры в связи с повышением интенсивности конвекционного теплообмена заготовки с окружающей средой и увеличением отвода теплоты в стружку.

На основе сформированных обучающих выборок была проведена и аппроксимация результатов конечно-элементного моделирования нейронными сетями. В среде программирования Matlab построены нейронные сети на основе нормализованных векторов данных. Диапазон изменения скорости - 100-550 м/мин, диапазон изменения подачи - 0,05-0,2 мм/об. На рис. 2 показана схема двухслойной радиально-базисной сети: с двумя входами и одним выходом, описывающей связь «скорость резания–подача–сила резания».

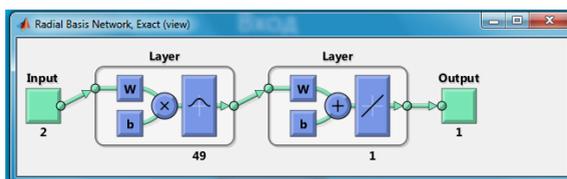
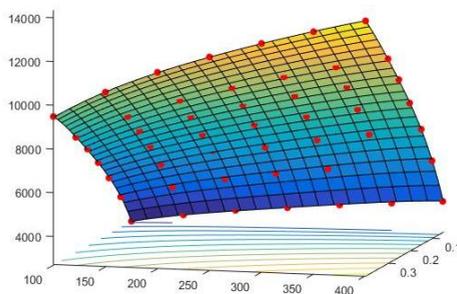


Рисунок 2 – Двухслойная радиально-базисная сеть

На рис. 3 представлены результаты аппроксимации данных моделирования централизованной радиально-базисной сетью, описывающие связь «сила резания–подача–скорость резания».

Фу, Н



v , м, м/мин; s , мм/об

Рисунок 3 – Нейронная сеть, описывающая связь «сила резания–подача–скорость резания»

На рис. 4 приведены результаты работы нейронной сети, описывающей связь «температура-скорость резания-подача».

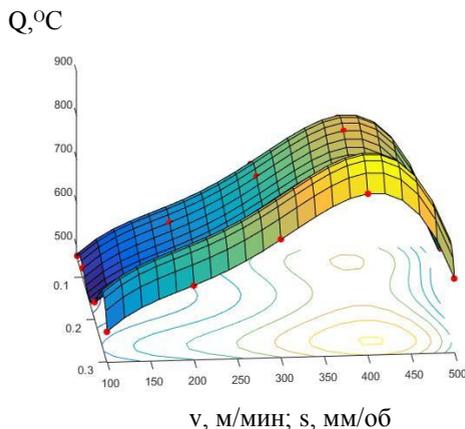


Рисунок 4 – Нейронная сеть, описывающая связь «температура-скорость резания-подача»

На рис. 5 приведены отсеченные поверхности отклика по критическим значениям температуры для исследуемого типа сталей 690°C и силы резания 4500Н (по критерию мощности привода или по критерию допустимых вибраций технологической системы).

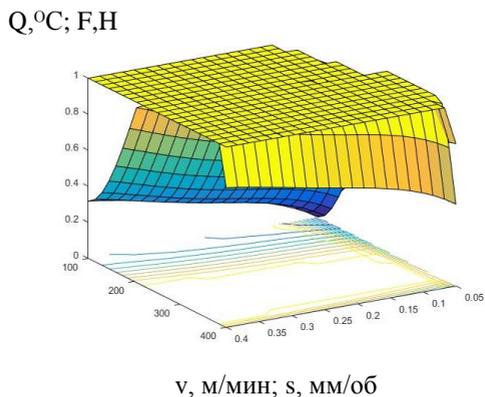


Рисунок 5 – Усеченная поверхность отклика при ограничениях на критическую температуру

С увеличением размерности выходного вектора состояния процесса задача усложняется, что требует увеличения числа опытов, а, значит, решения ресурсоемких задач конечно-элементного моделирования.

Следующим шагом использования нейронных сетей при описании процесса резания будет являться оптимизация технологических параметров.

Оптимизировать процесс резания с использованием нейронной сети можно с двух точек зрения:

- считать возмущающие воздействия (силы и температуру резания) постоянными), то есть решать статическую задачу отыскания оптимальных по какому-либо критерию значений технологических режимов: подачи, скорости, количества проходов;

- строить оптимальную систему управления процессом резания в динамике.

На основе базы данных о процессе резания разработана нечеткая система управления силой резания, структурная схема которой приведена на рис. 6.

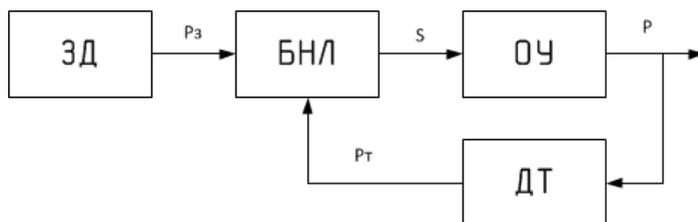


Рисунок 6 – Структурная схема системы нечеткого управления режимами резания: ЗД – задатчик, БНЛ – блок нечеткой логики, ОУ – объект управления (включающий в себя оснастку станка)

Предложенная система нечеткого управления режимами резания представляет собой замкнутую систему управления с обратной связью, в прямом контуре которой в качестве регулятора используется нечеткий контроллер. Управляющим параметром является подача s (мм/об), а в качестве управляемого параметра выступает сила резания P (Н). Значение подачи в первый момент времени соответствует оптимальному значению подачи, определенному на этапе технологической подготовки производства, исходя из требований к качеству, и в процессе обработки подлежит коррекции.

В качестве блока нечеткой логики применяется нечеткий регулятор, использующий метод логического вывода. Входной сигнал

регулятора – текущее значение силы резания поступает с тензометрического датчика силы резания. Выходной параметр регулятора – скорректированное значение подачи.

Осуществлен синтез алгоритмов нечеткого логического управления для системы управления силой резания, в ходе которого определены функции принадлежности входных и выходных параметров, построена база нечетких правил управления. В качестве алгоритма нечетко-логического вывода использован алгоритм Мамдани. Нечеткий регулятор реализован в среде Matlab Fuzzy ToolBox. Были введены лингвистические переменные, определены базы нечетких правил, выполнено программирование процедур системы нечеткого вывода (рис. 7-8). Заданы входные переменные функции принадлежности для каждого из термов. Для переменной «Сила Р» использовано пять функций принадлежности соответственно, две из которых трапецевидные, а три остальных – треугольной формы. Параметры функций заданы в соответствии с расчетами, проведенными на этапе конечно-элементного моделирования.

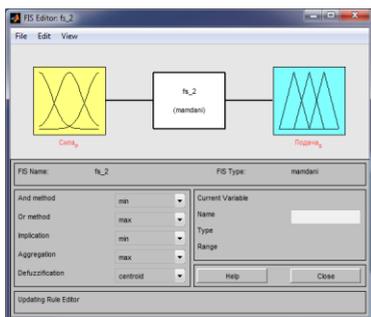


Рисунок 7 – Окно редактора системы нечеткого вывода

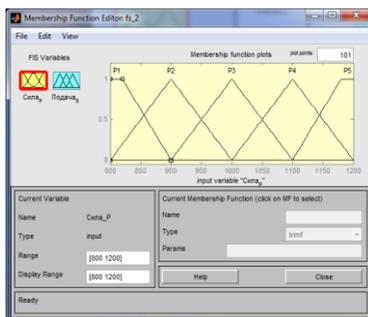


Рисунок 8 – Окно редактора функций принадлежности входного параметра Р

Аналогично входной переменной силе резания Р две функции принадлежности будут трапецевидными, а три остальных – треугольной формы. Далее были заданы правила управления (рис. 9) и проведена проверка работы регулятора (рис. 10).

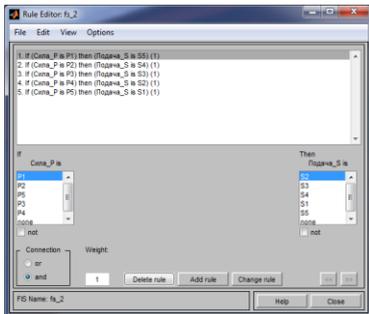


Рисунок 9 – Окно редактора правил

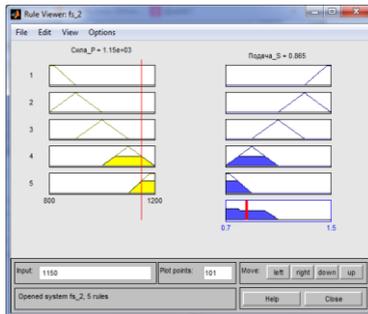


Рисунок 10 – Окно просмотра результата работы

При заданном значении переменной «Сила Р», равном 1150Н, получили скорректированное значение выходной переменной «Подача S», равное 0,865 мм/об (рис. 10).

Таким образом, разработанный нечеткий регулятор, построенный на данных численного моделирования, показал хорошую работоспособность. Моделирование системы в среде Matlab Simulink показало, что разработанная система управления при металлообработке на станке с использованием нечеткого регулятора позволяет уменьшить время регулирования и улучшить показатели. На рис. 11 приведена структурная схема процесса наружного продольного точения детали на станке с ЧПУ.

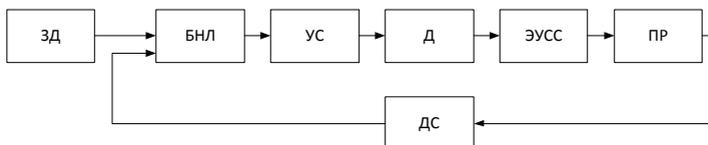


Рисунок – 11. Структурная схема системы управления:
 ЗД – задатчик, БНЛ – блок нечеткой логики, УС – усилитель, Д – двигатель,
 ЭУСС – эквивалентная упругая система станка,
 ПР – процесс резания, ДС – датчик

Для построения модели системы в пакете Simulink были определены передаточные функции каждого устройства, входящего в систему управления. Реализация данной системы в пакете Simulink представлена на рис. 12:

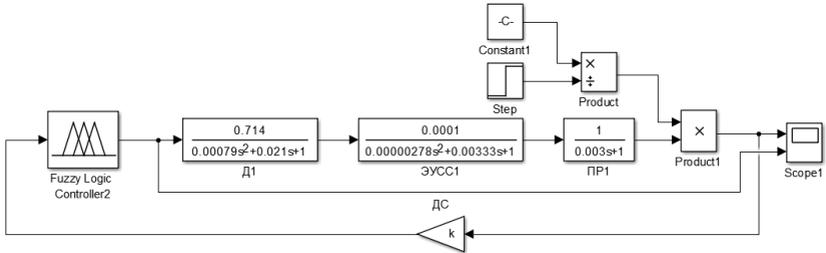


Рисунок 12 – Модель системы в пакете Simulink

Результаты моделирования системы регулирования с использованием разработанного нечеткого регулятора представлены на рис. 13 и рис. 14. Показатели качества получены следующие: время регулирования – 0,6 с, отклонение от заданного значения – 2%.

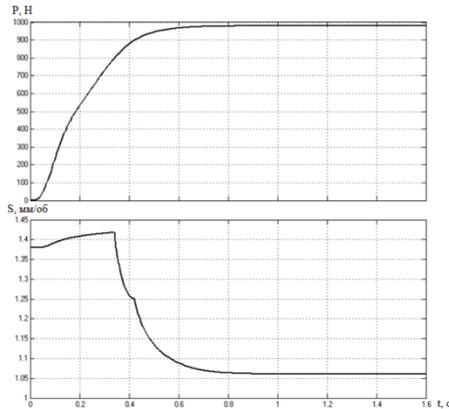


Рисунок 13 – Переходный процесс с использованием разработанного нечеткого регулятора

На рис. 14 приведены характеристики системы при моделировании случайного изменения величины снимаемого припуска с 1мм на 1.5мм на первой секунде моделирования с использованием нечеткого регулятора. Как видно, сила резания стабилизировалась, и отклонение составило около 15Н.

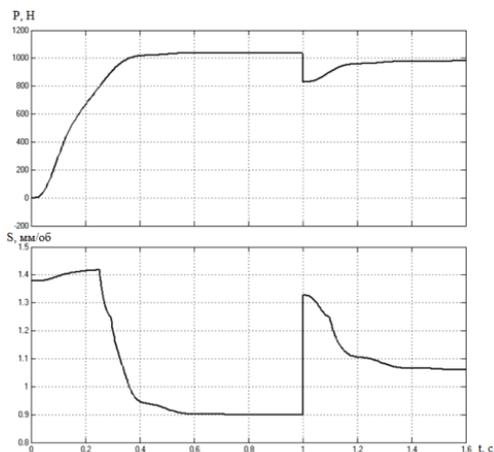


Рисунок 14 – Моделирование работы системы с использованием разработанного регулятора при изменении величины снимаемого припуска с 1мм на 1.5мм на 1 секунде

Разработанная система работает должным образом, показывает удовлетворительные показатели качества работы.

Таким образом, результаты выполнения проекта за 2015 год:

Проведено численное моделирование процесса резания. Получена динамическая картина изменения силовых и температурных параметров в зоне резания. Выявлены критические точки значений температуры на поверхности заготовки в зависимости от скорости резания в диапазоне 100–550 м/мин. На основе результатов моделирования сгенерирована общая база раз разрушения при стружкообразовании, включающая параметры, недоступные прямому измерению.

Реализован способ получения математической модели технологического процесса слабоформализованного объекта, основанный на последовательном применении результатов численного моделирования, используемых в качестве обучающих выборок для построения нейронных сетей, с последующей подачей типового воздействия и обработки реакции с целью нахождения уравнения движения.

Разработана нечеткая система управления силой резания при токарной обработке, показывающая эффективность применения результатов численного моделирования и нечеткого регулирования.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08044 «р_офи_м», с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Wins K., Varadarajan A., Ramamoorthy B. Optimization of Surface Milling of Hardened AISI4340 Steel with Minimal Fluid Application Using a High Velocity Narrow Pulsing Jet of Cutting Fluid. Engineering. 2010. Vol. №10. P. 793-801.
2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение. 1981. 279 с.
3. Гончарова С.Г. Интеллектуальная система управления процессом механообработки с оперативным использованием нечеткой нейросетевой модели знаний: дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Гончарова Светлана Геннадьевна. Уфа.2 001. 207 с.
4. Рубанов В.Г., Титов В. С., Бобырь М. В. Адаптивные системы принятия нечетко-логических решений: монография // Белгород: Изд-во БГТУ. 2014. 237 с.
5. Дуюн Т.А., Гринек А.В., Сахаров Д.В. Моделирование и оптимизация технологических процессов изготовления изделий с использованием метода динамического программирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №3. С. 61 – 65.
6. Duyun, T. A., Grinek, A. V., Rybak, L. A. (2014). Methodology of manufacturing process design, providing quality parameters and minimal costs. World Applied Sciences Journal, 30 (8), 958–963.
7. Duyun T.A., Grinek A.V., Manzhos R.V. The Optimum Cutting Speed and Acceptable Parameters for Tool Vibration When Turning an Inhomogeneous Material. Advances by Environment Biology. 8(13): 112-116.
8. Duyun T.A., Grinek A.V., Manzhos R.V. Modelling of Thermal Field of Electromotor's Collector in Service. Advances by Environment Biology. 8(13): 183 – 190.