ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

(c) www.ncsystems.ru

Цель работы:

разработать методику построения систем адаптивного оптимального управления процессом резания при заданных критериях обработки с учетом переменного характера глубины резания, за счёт применения аппарата искусственных нейронных сетей.

Задачи исследования:

1. исследовать возможности использования искусственного интеллекта для определения мгновенной глубины резания;
2. разработать способ определения зависимости максимальной производительности процесса резания от его управляемых параметров и мгновенной глубины резания при ограниченности вычислительных ресурсов;
3. разработать алгоритм оптимальной коррекции управляемых параметров процесса резания с учетом ограничения по предельно возможным изменениям параметров за один шаг;
4. в соответствии с полученными теоретическими и практическими знаниями разработать систему адаптивного оптимального управления процессом резания на основе искусственных нейронных сетей, и интегрировать её в систему ЧПУ класса PCNC с открытой архитектурой.

Научная новизна:

1. разработан способ определения мгновенной глубины резания по косвенным признакам на основе алгоритма нечеткой логики;
2. разработан метод определения и изменения значений управляемых параметров процесса резания, при которых достигается максимальная производительность на основе искусственной нейронной сети;
3. разработана компонентная архитектура и принципы построения системы адаптивного оптимального управления.

Место работы в системы ЧПУ типа PCNC

Классификация систем адаптивного управления

Системы адаптивного управления

Системы адаптивного предельного управления

Системы стабилизации
(поддержание постоянства какого-либо параметра процесса резания)

Автоматические следящие системы
(управление положением детали или инструмента)

Системы программного регулирования
(обеспечение стойкости инструмента)

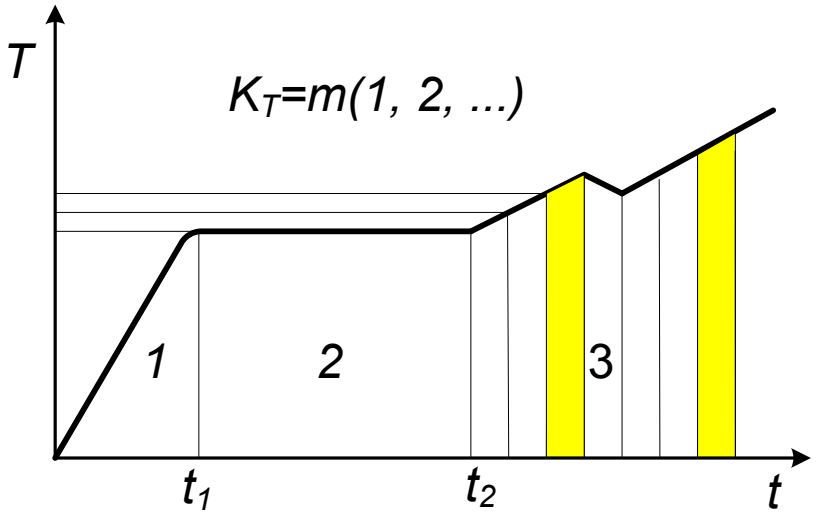
Решение на базе искусственных нейронных сетей

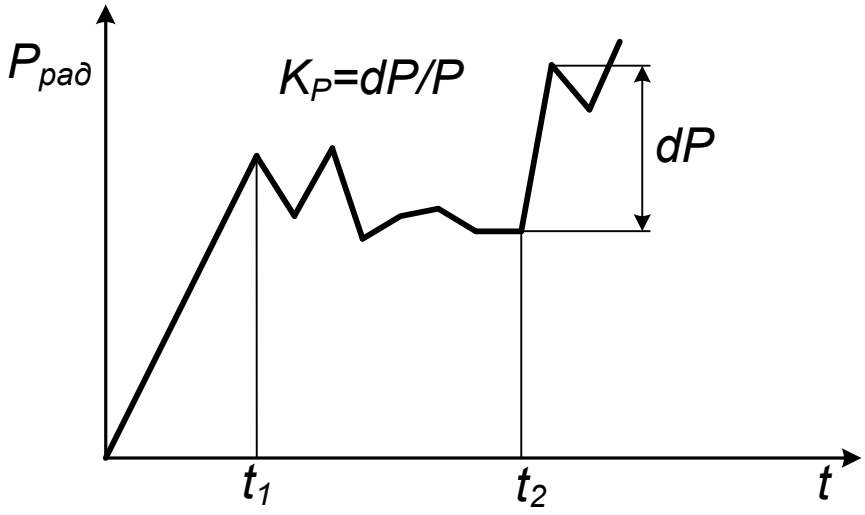
Системы адаптивного оптимального управления

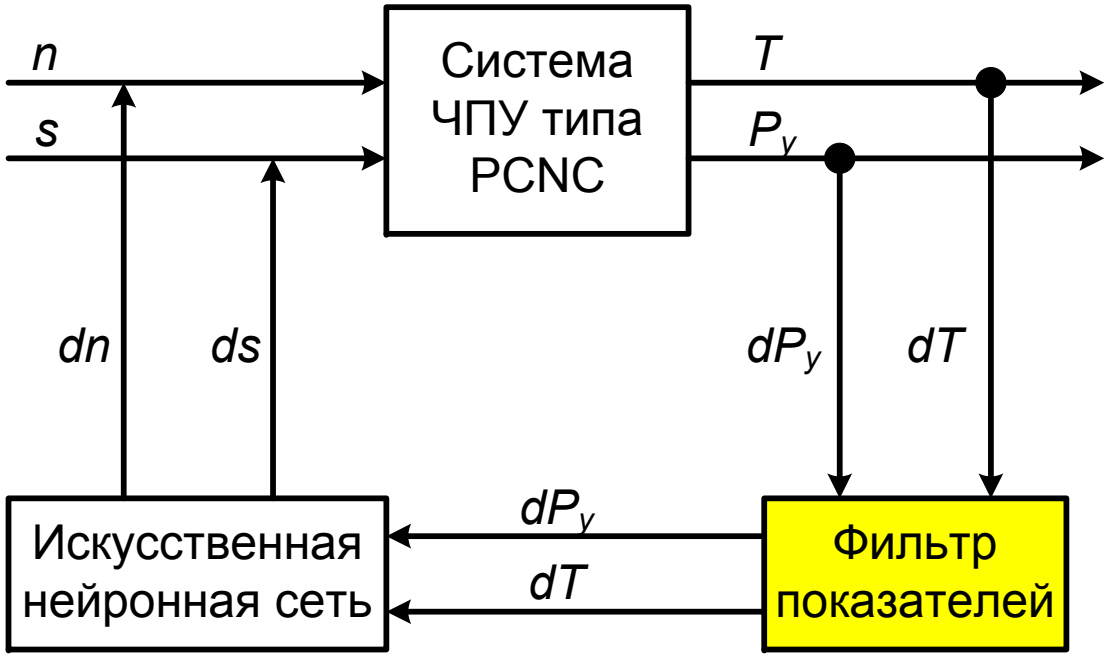
(строятся на основе выбранного критерия качества металлообработки, а также ограничений, в пределах которых использование данного критерия имеет смысл; конкретных методов оптимизации работы в соответствии с принятым критерием и наложенными на него ограничениями; технических средств оптимизации и их размещения на тех или иных иерархических уровнях системы управления)

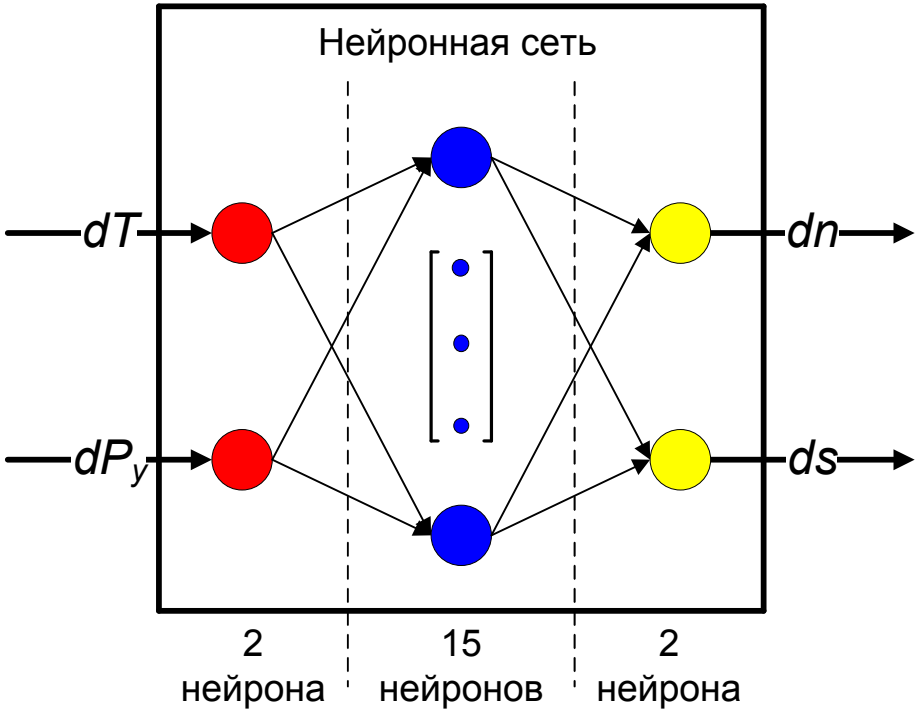
Решение на базе искусственных нейронных сетей

Система адаптивного управления износом режущего инструмента

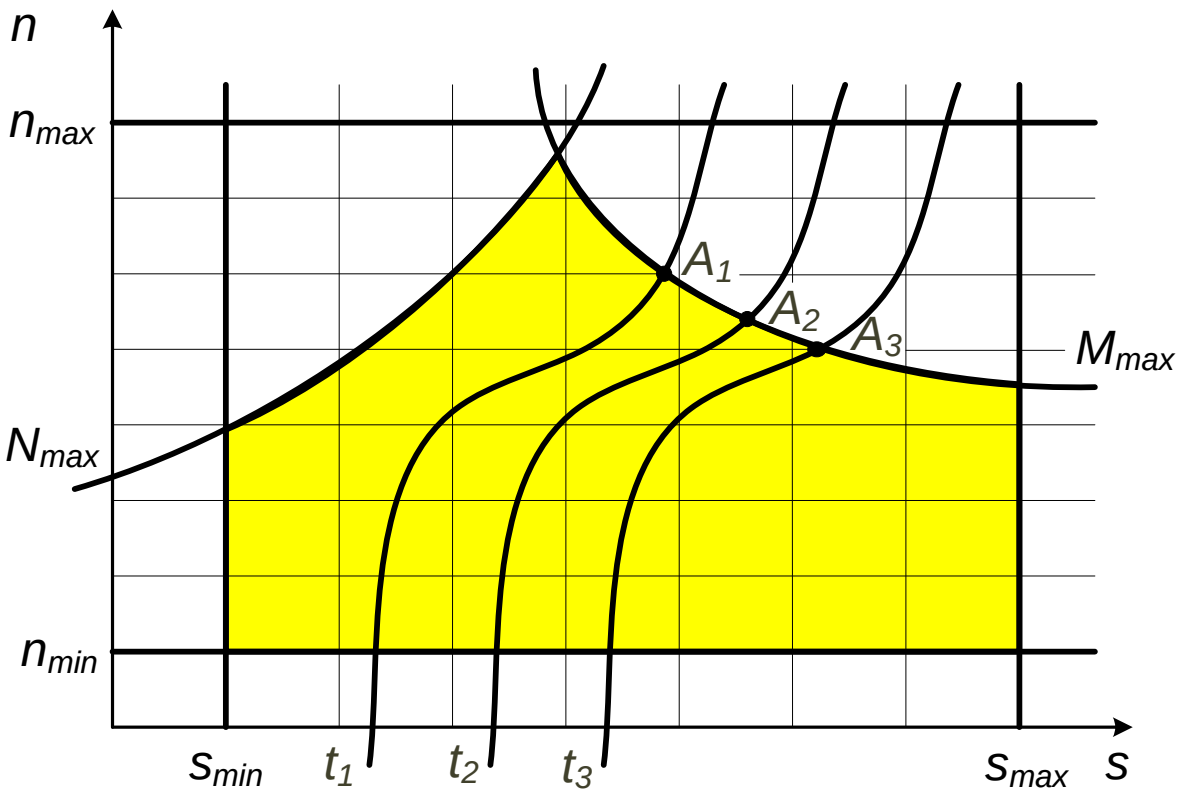








Ограничения, накладываемые на управляемые параметры процесса резания, и точки максимальной производительности



t_1, t_2, t_3 - мгновенная глубина резания;

A_1, A_2, A_3 - точки максимальной производительности, соответствующие мгновенной глубине резания

n - частота вращения шпинделя;

s - продольная подача;

N_{max} - ограничение по мощности резания;

M_{max} - ограничение по моменту резания;

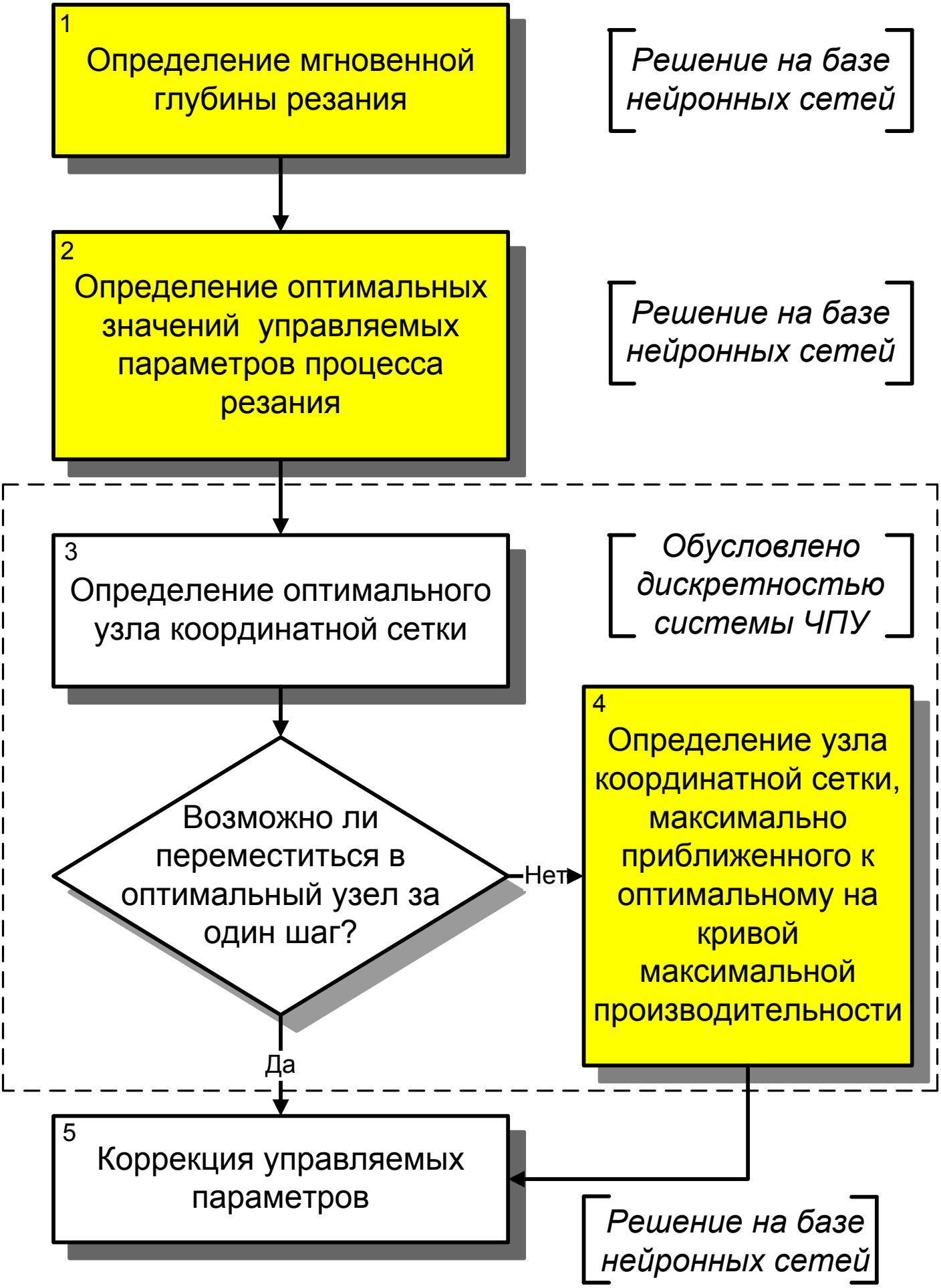
n_{max} - максимально допустимая частота вращения шпинделя;

n_{min} - минимально допустимая частота вращения шпинделя;

s_{max} - максимально допустимая подача;

s_{min} - минимально допустимая подача;

Алгоритм коррекции управляемых параметров процесса резания



Определение мгновенной глубины резания

$P_y = C_p t_x s_y n_z K_M$ - определение радиальной составляющей силы резания через управляемые параметры процесса резания.

P_y - радиальная составляющая силы резания;

C_p - удельная сила резания (константа), учитывающая влияние на радиальную силу резания всех прочих параметров, не входящих в формулу (геометрии инструмента, вида обрабатываемого материала, типа СОЖ и т.д.);

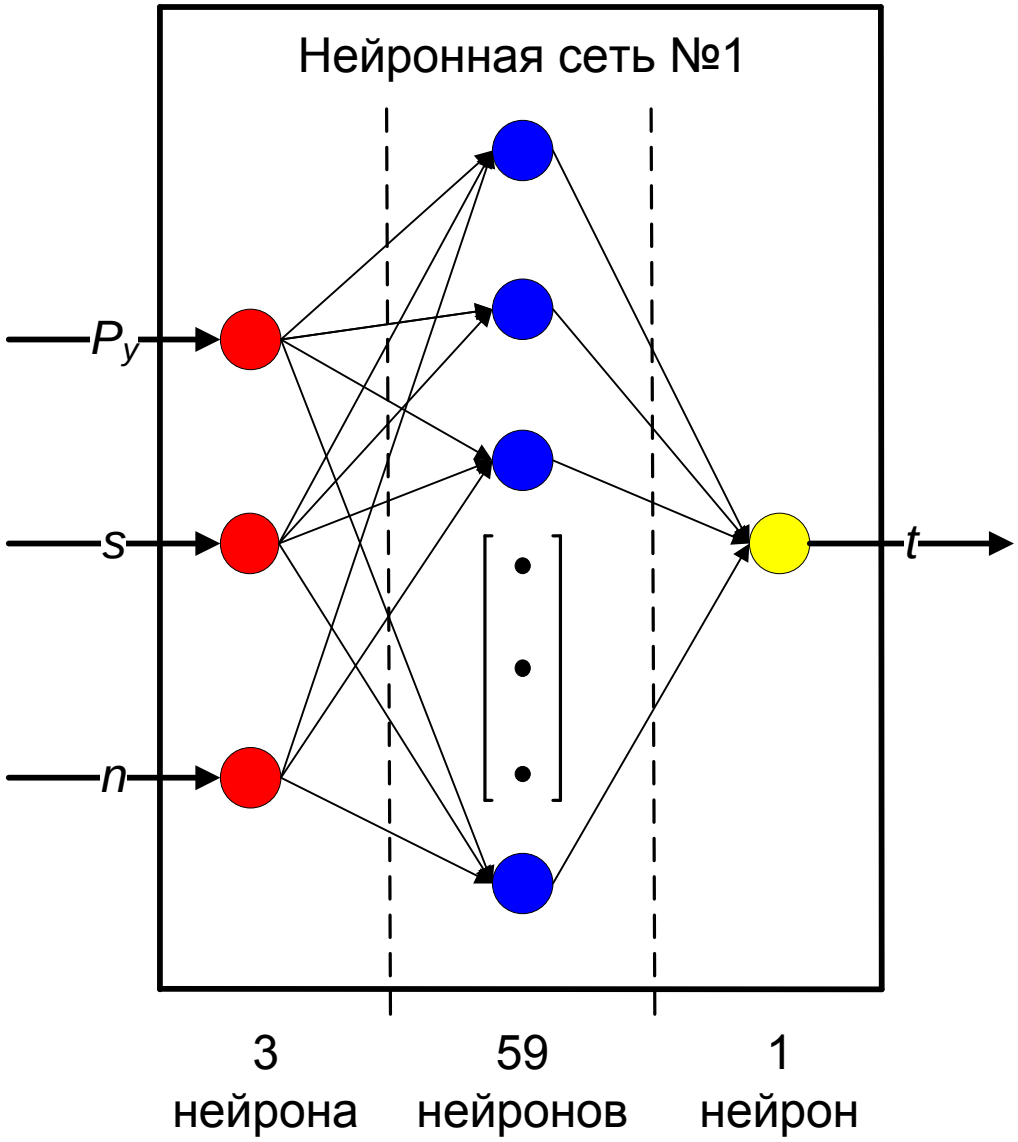
t - мгновенная глубина резания;

s - продольная подача;

n - скорость вращения шпинделя;

x, y, z - показатели степени, выражающие влияние соответствующего параметра режима резания на силы резания;

K_M - коэффициент, учитывающий влияние на силы резания свойств обрабатываемого материала



Определение значений управляемых параметров системы, при которых достигается максимальная производительнось

Критерий оптимизации

$$\Pi_v = \frac{V}{T+\tau}$$ - объемная производительность

V - объем припуска, снятого за цикл использования инструмента;

T - стойкость инструмента; $$T^m = \frac{318\, c_v k_v}{n t^{x_v} s^{y_v} d}$$

τ - время смены инструмента.

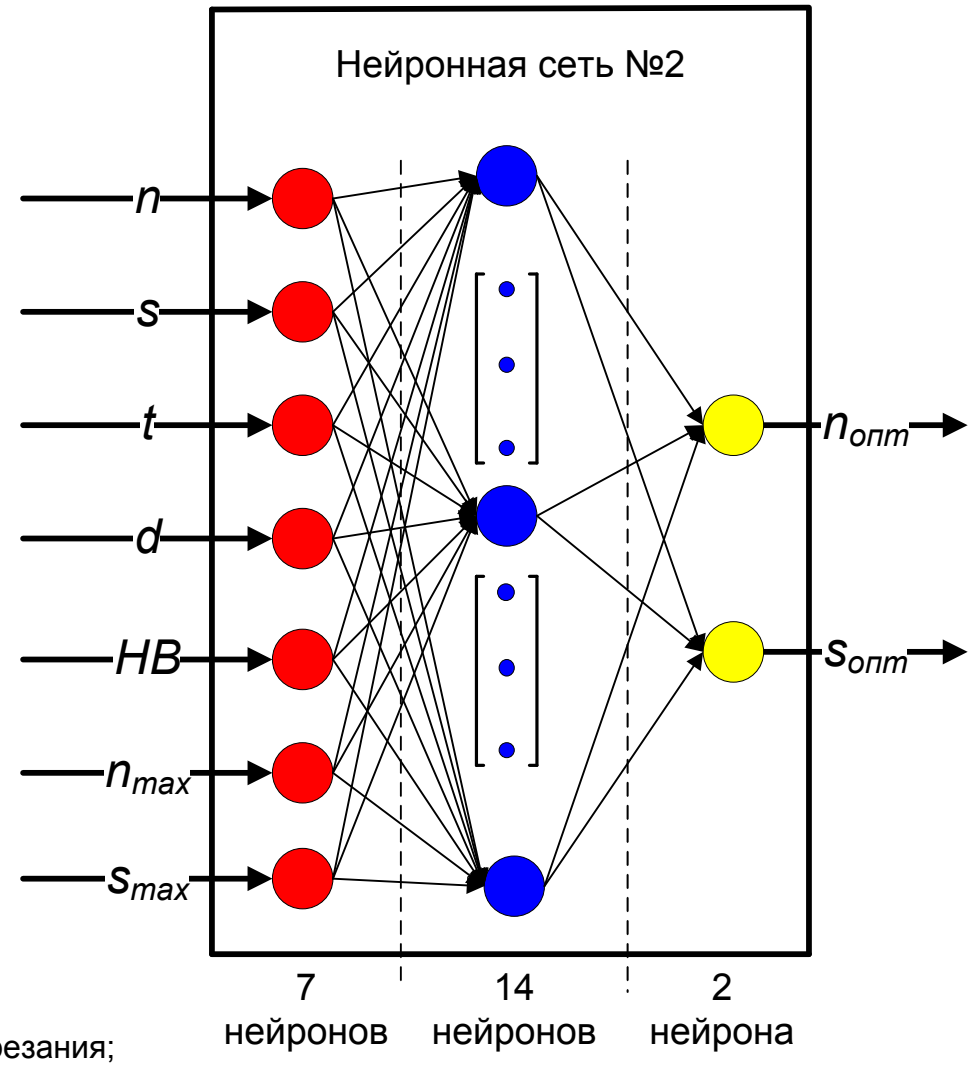
c_v - постоянная величина для определенной группы обрабатываемых материалов;

k_v - коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала, режущей части инструмента и типа СОЖ;

d - диаметр обрабатываемой заготовки;

t - глубина резания;

x_v, y_v, m - показатели степеней, зависящие от свойств инструмента и условий резания.



Силомоментные ограничения

$$N_{\max} = \frac{1}{6120} v C_{P_z} s^{\beta_z} t^{\gamma_z} HB^{n_z}$$ - максимально допустимая мощность резания;

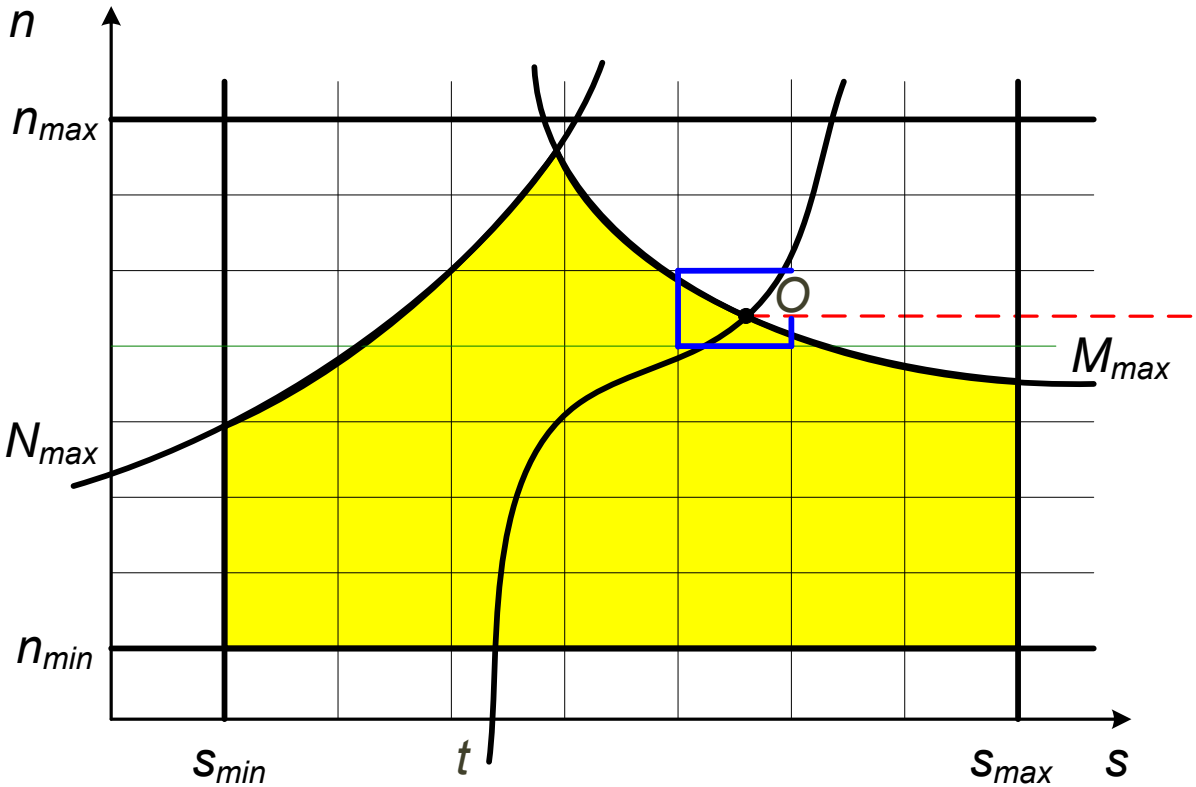
$$M_{\max} = 0{,}5 \cdot 10^{-3} d C_{P_z} s^{\beta_z} t^{\gamma_z} HB^{n_z}$$ - максимально допустимый момент резания;

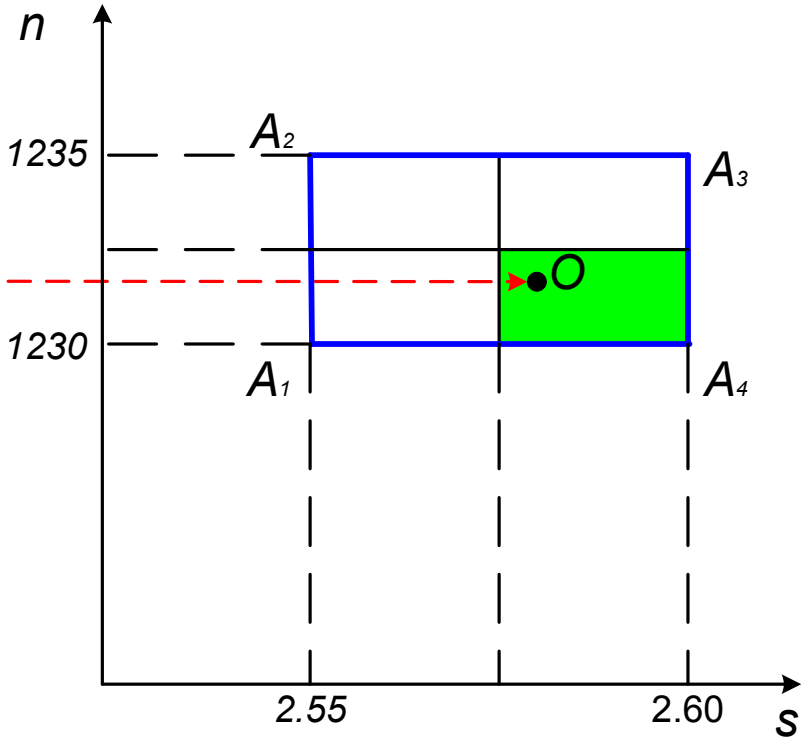
v - скорость резания;

HB - твердость материала заготовки;

$C_{P_z}, \beta_z, \gamma_z, n_z$ - коэффициенты, полученные экспериментальным путём

Определение оптимального узла координатной сетки





Алгоритм определения оптимального узла координатной сетки

Шаг 1. Определяется прямоугольник, ограниченный узлами координатной сетки, в котором находится точка соответствующая максимальной производительности (оптимальная точка).

Шаг 2. Полученный прямоугольник разбивается на четыре равных прямоугольника.

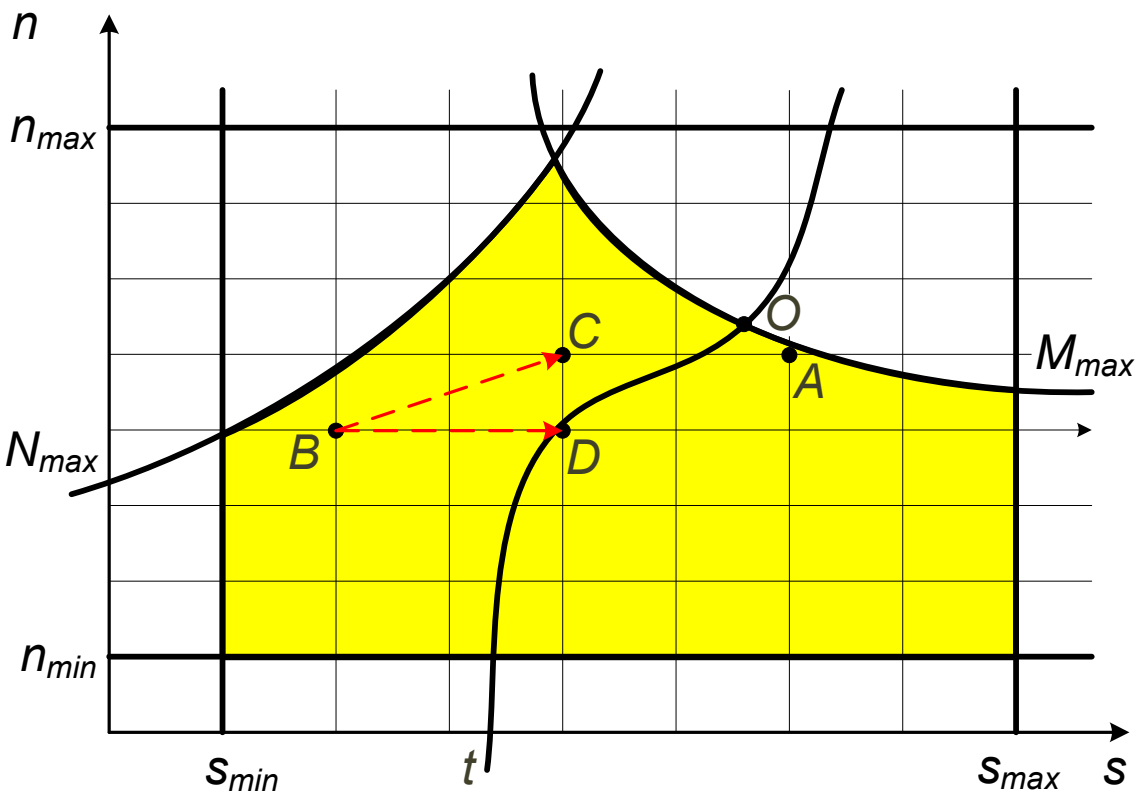
Шаг 3. Определяется прямоугольник, который содержит оптимальную точку. Если оптимальная точка принадлежит более чем одному прямоугольнику, то выбирается прямоугольник с максимальной производительностью

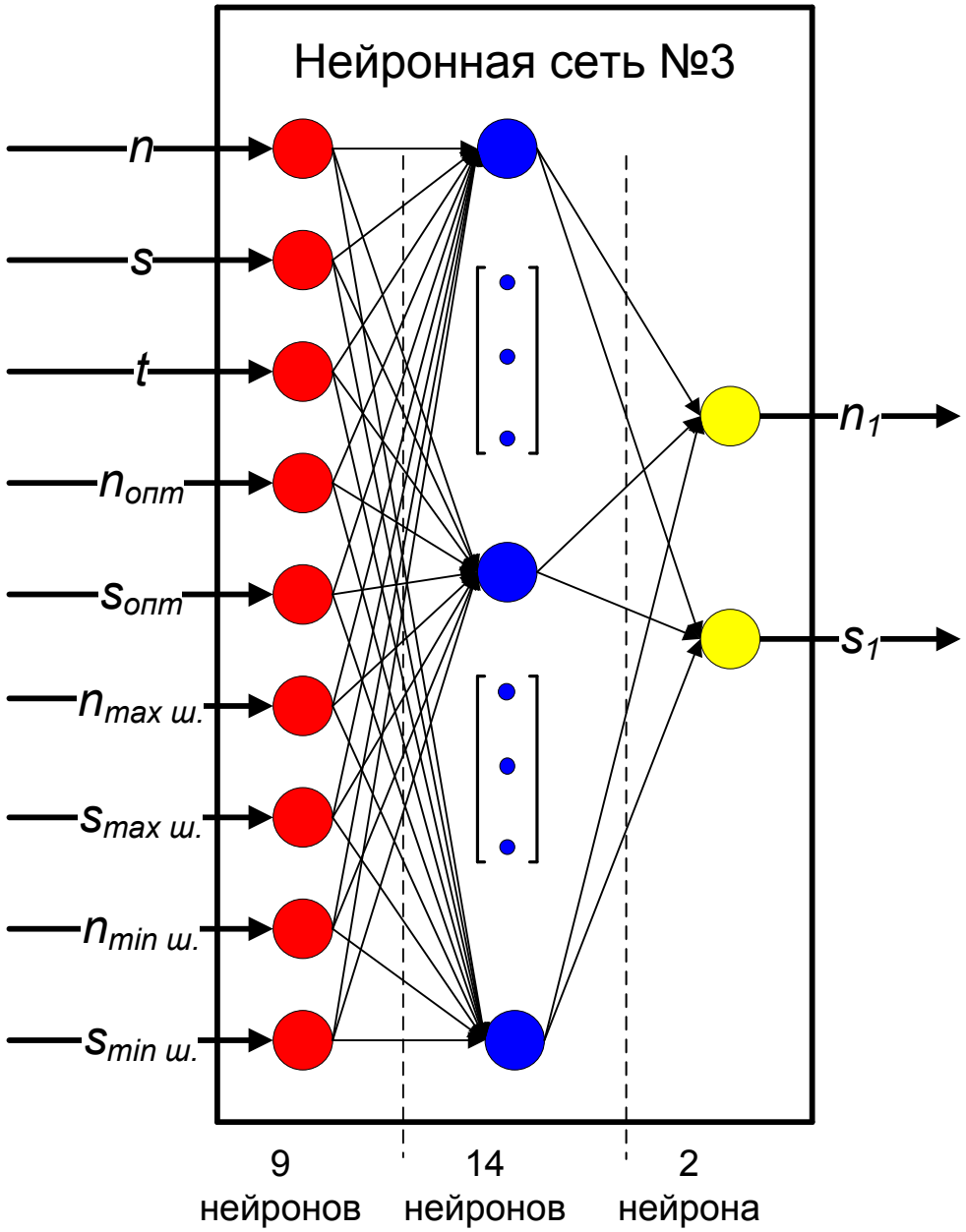
Шаг 4. Узел координатной сетки, который является вершиной этого прямоугольника является оптимальным.

Точка O (2.58, 1232);
Точка A_1 (2.55, 1230);
Точка A_2 (2.55, 1235);
Точка A_3 (2.60, 1235);
Точка A_4 (2.60, 1230);

т.е. узел A_4 - оптимальный узел координатной сетки

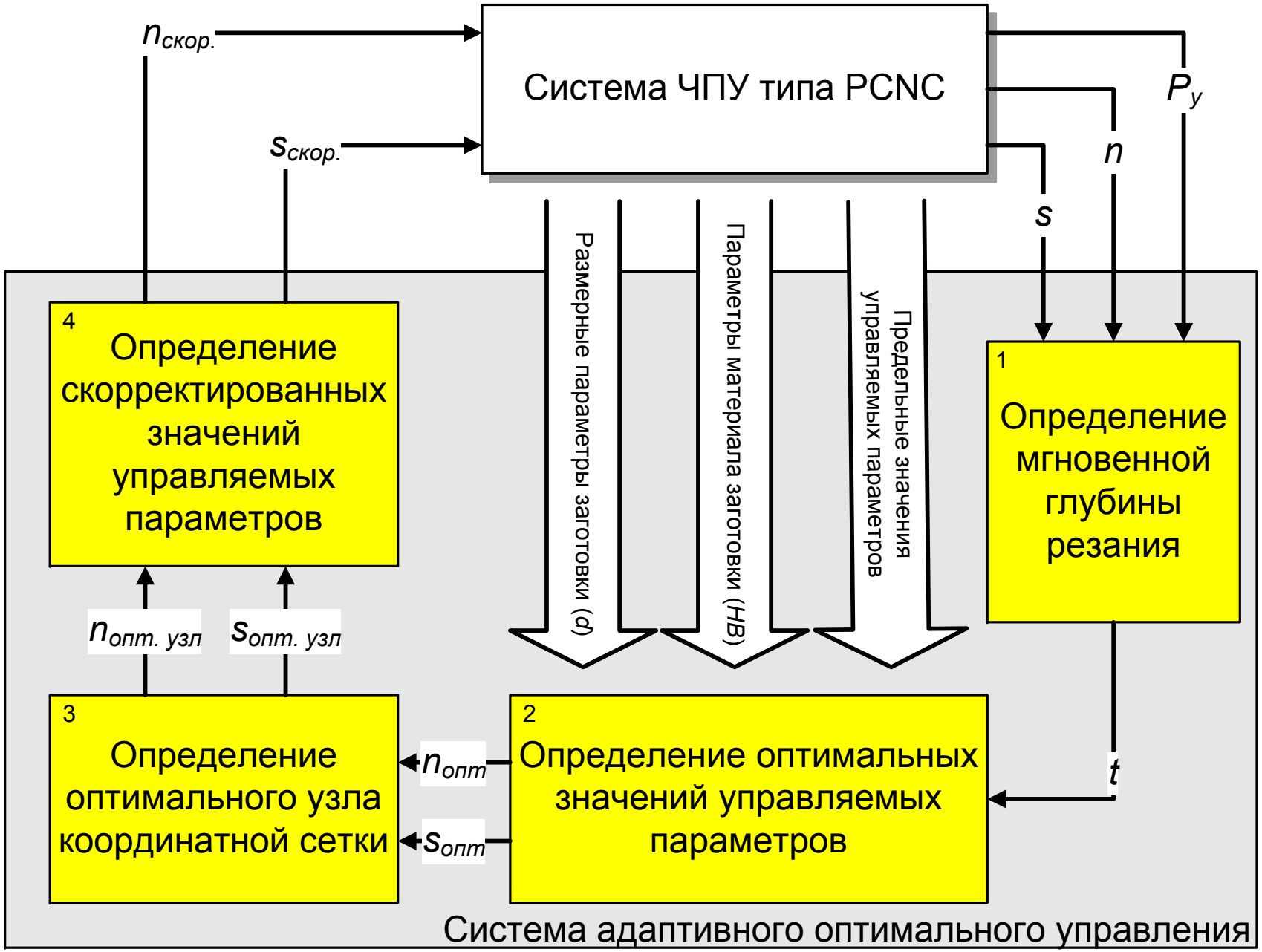
Определение скорректированных значений управляемых параметров





O - точка максимальной производительности;
A - оптимальный узел координатной сетки;
B - текущее состояние системы;
C - возможное состояние системы (неоптимальное);
D - возможное состояние системы (оптимальное);

Обобщенная архитектура системы адаптивного оптимального управления



n – скорость вращения шпинделя;

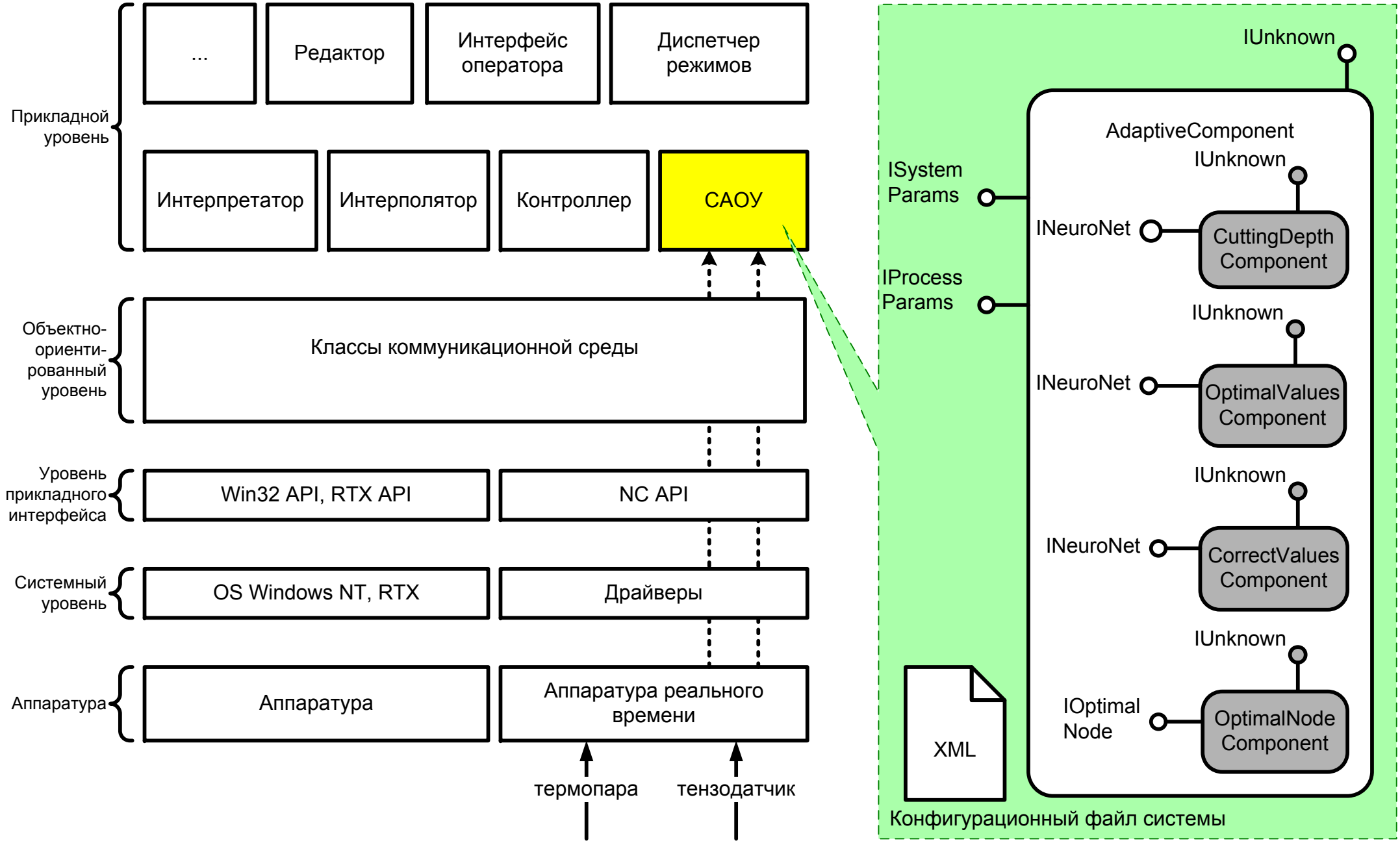
s – продольная подача;

P_y – радиальная сила в точке контакта;

d – диаметр обрабатываемой заготовки;

HB – твердость материала заготовки;

Интеграция системы адаптивного оптимального управления в систему ЧПУ типа PCNC



Выводы и рекомендации по работе

1. Система адаптивного оптимального управления, построенная на базе искусственных нейронных сетей, позволяет обеспечить необходимое быстродействие системы управления и надлежащее качество обрабатываемых изделий при достижении максимальной производительности процесса резания. Максимально возможная производительность обработки зависит от дискретности управляемых параметров системы ЧПУ.

2. Точность обучения искусственных нейронных сетей, используемых в системе адаптивного предельного управления, напрямую зависит от требований, предъявляемых к износостойкости режущего инструмента, и при необходимости может быть повышена итеративно путем дополнительного обучения.

3. Мгновенная глубина резания определяется с высокой точностью по косвенным признакам с помощью искусственной нейронной сети.

4. Максимальную производительность процесса резания рекомендуется определять с помощью искусственной нейронной сети на основании значений управляемых параметров и их ограничений, а также мгновенной глубины резания.

5. Коррекция управляемых параметров процесса резания следует осуществлять с помощью искусственной нейронной сети, на основании оптимальных значений управляемых параметров и ограничений, накладываемых на систему ЧПУ. Предложенная реализация системы адаптивного оптимального управления в виде набора COM - компонентов позволяет легко встроить её в систему ЧПУ класса PCNC без изменения архитектуры последней. Использование внешних библиотек, реализующих искусственные нейронные сети, позволяет значительно ускорить процесс разработки и снизить его себестоимость. Предложенный механизм сохранения структуры обученной нейронной сети в файле и последующей ее загрузки обеспечивает многократное использовании сети без повторного обучения