

# ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНЫМ СОРТОВЫМ СТАНОМ «300» ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ПО КВАДРАТИЧНОМУ КРИТЕРИЮ КАЧЕСТВА

**Рафиков Г.Ш., Лебедева А.Ф.**

Донецкий национальный технический университет,  
кафедра автоматики и телекоммуникаций

*Abstract. Rafikov G., Lebedeva A. Optimum control to continuous installation on sorting "«300" hot hire by square-law criterion of qualities. Exploited structural chime of the system of automatic regulation of a loop and speed of the rolling. Received mathematical model of a present system. Decided a problem of syntheses of algorithm of optimal management dynamic system by square-low quality criterion. Received graphs of transitional processes of researched system. Realized experimental control of capacity for work of synthesis algorithms of optimal management dynamic system.*

Особенностью современного развития прокатного производства является переход к непрерывным процессам прокатки. Это позволяет существенно увеличить производительность прокатных станков и повысить качество их продукции. Обеспечение непрерывной прокатки требует значительного повышения уровня автоматизации технологических процессов и обеспечения оптимального управления.

**Актуальность проблемы** управления состоит в том, что существующие методы разработки автоматических систем для управления прокатными станами уже не удовлетворяют современным требованиям, т.к. работающие в настоящее время типовые регуляторы с различными законами регулирования (П-, ПИ- и ПИД-регуляторы) в большинстве случаев не обеспечивают оптимальных режимов работы прокатных станков [1].

Процедура синтеза системы оптимального управления в общем случае направлена на работу структуры и алгоритмов, наилучшим образом отвечающих требованиям к точности, колебательности и быстродействию переходных процессов, а также экономичности управления. Эти требования формулируются в виде задачи синтеза оптимальных регуляторов по квадратичным критериям качества [2].

Такая оптимизационная задача в настоящей работе решена на основе метода множителей Лагранжа с использованием уравнения Риккати.

Современные сортовые станы имеют ряд особенностей, к числу которых относятся:

а) в процессе прокатки имеет место изменение скорости вращения валков каждой клетки при действии различных возмущающих факторов;

б) рассогласование скоростей вращения валков в петлях приводит к быстрому нарастанию петли и значительному увеличению стрелы ее прогиба.

Целью данной работы является синтез алгоритмов оптимального регулирования петли и скорости прокатки, предназначенные для устранения перечисленных недостатков.

Структурная схема разработанной системы автоматического регулирования петли и скорости прокатки (САРПС) представлена на рис. 1 [3]. Петлеобразователь и датчик петли служат для получения значения длины петли. В качестве датчика скорости используется тахогенератор, предназначенный для определения скорости вращения двигателя. На выходе этих датчиков сигналы в виде напряжения сравниваются с требуемыми значениями и разность этих сигналов поступает на тиристорный выпрямитель. Выходной сигнал с выпрямителя передается на двигатель постоянного тока.

Передаточная функция САРПС имеет вид:

$$W_n(s) = \frac{0.103s^3 + 13.354s^2 + 315.383s + 2.141}{s^5 + 130s^4 + 3417s^3 + 27974s^2 + 724863s + 1187} = \frac{Y(s)}{U(s)}.$$

Уравнение системы в пространстве состояний имеет вид:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1187 & -724863 & -27974 & -3417 & -130 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u,$$

$$y = [2.141 \quad 315.383 \quad 13.354 \quad 0.103 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + [0]u.$$

Для перехода от непрерывной системы к дискретной произведен выбор периода дискретности, оказывающий существенное влияние на вид переходного процесса.

В результате исследования выяснено, что приемлемым для данной системы является период дискретности, равный 0,3 с. При этом периоде дискретизации наблюдаются наиболее предпочтительные динамические свойства системы.

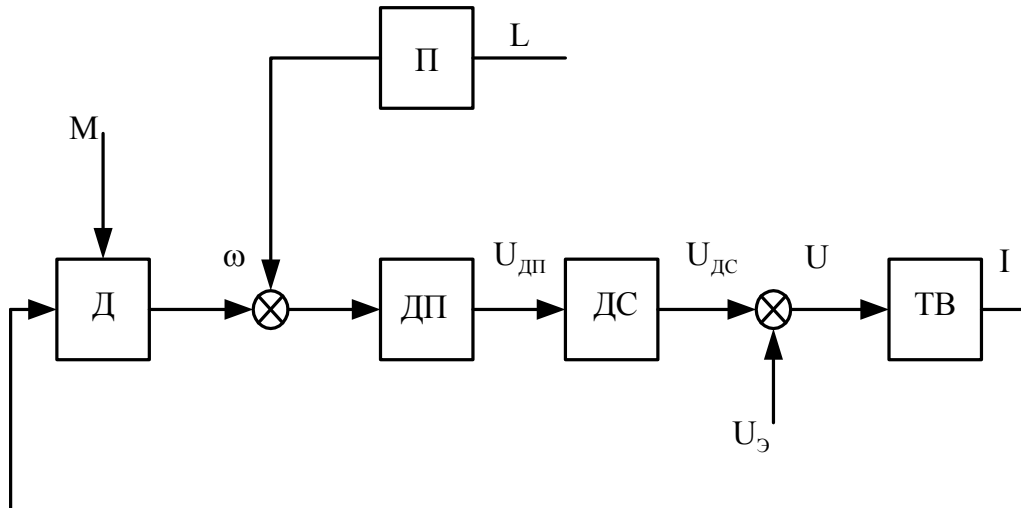


Рисунок 1 — Структурная схема САРПС

Здесь: Д — двигатель; ДП — датчик петли; ДС — датчик скорости; П — петлеобразователь; ТВ — тиристорный выпрямитель.

Для достижения наилучших результатов работы систем (а это и минимально возможное время установления переходного процесса, минимальное значение перерегулирования) решена задача квадратичного оптимального управления системой с конечным временем регулирования и задача установившегося квадратичного оптимального управления.

Постановка задачи оптимального управления по квадратичному критерию качества задана в следующем виде: для заданной линейной дискретной системы управления

$$\bar{x}(k+1) = \Phi \bar{x}(k) + H \bar{u}(k), \quad \bar{x}(0) = 0,$$

являющейся полностью управляемой (регулируемой),

где  $x(k)$  — вектор состояния ( $n$ -вектор);  $u(k)$  — вектор управления ( $r$ -вектор);  $\Phi$  — ( $n \times n$ ) несингулярная матрица;  $H$  — ( $n \times r$ ) матрица.

Необходимо найти такую последовательность оптимальных управлений  $u(0), u(1), u(2), \dots, u(N-1)$ , которая минимизирует квадратичный критерий оптимальности, записанный в виде уравнения [4]

$$J = 0.5 \bar{x}'(N) S \bar{x}(N) + 0.5 \sum \left[ \bar{x}'(k) Q \bar{x}(k) + u'(k) R u(k) \right],$$

где  $Q$  — ( $n \times n$ ) положительно определенная или положительно полуопределенная Эрмитова матрица (или реальная симметричная матрица);

$R$  — ( $r \times r$ ) положительно определенная Эрмитова матрица (или реальная симметричная матрица);

$S$  — ( $n \times n$ ) положительно определенная или положительно полуопределенная Эрмитова матрица (или реальная симметричная матрица).

Оптимальный закон управления для установившегося процесса имеет вид

$$u(k) = -K \bar{x}(k),$$

где  $K = (R + H' P H)^{-1} H' P \Phi$ ;

$P$  — симметричная положительно определенная квадратная матрица размерности ( $n \times n$ ), удовлетворяющая уравнению Риккати вида [5]

$$P(k+1) = Q + \Phi' P(k) \Phi - \Phi' P(k) H [R + H' P(k) H]^{-1} H' P(k) \Phi,$$

и система управления становится оптимальной системой регулирования:

$$\bar{x}(k+1) = \left[ \Phi - H (R + H' P H)^{-1} H' P \Phi \right] \bar{x}(k) = (I + H R^{-1} H' P)^{-1} \Phi \bar{x}(k).$$

При разработке инвариантного во времени оптимального контроллера требуется наличие установившегося решения уравнения Риккати.

Решение начинается с  $P(0)=0$ . Вычисления продолжаются до тех пор, пока не будет получено стационарное решение.

В результате проверки работоспособности синтезированного алгоритма управления, исследуемой системы выяснено, что ее динамические свойства отвечают заданным требованиям как в номинальном так и в возмущенном режимах работы.

С помощью синтезированного алгоритма оптимального управления получен устойчивый переходный процесс системы (см. рис. 2), при этом быстродействие системы оказалось равным 1,8 с., что является хорошим результатом для такого объекта, как прокатный стан. Система нормально отрабатывает единичное ступенчатое воздействие, при этом установившееся значение выходной величины достигает уровня задающего воздействия.

Таким образом, в результате проведенных исследований:

1. Разработаны структурные схемы системы автоматического регулирования петли и скорости прокатки.

2. Синтезированы алгоритмы оптимального управления петли и скорости прокатки, позволяющие стабилизировать скорости вращения валков каждой клетки и уменьшить стрелу прогиба петли.

3. Проведена экспериментальная проверка работоспособности синтезированных алгоритмов оптимального управления; результаты экспериментального моделирования подтвердили работоспособность синтезированных алгоритмов.

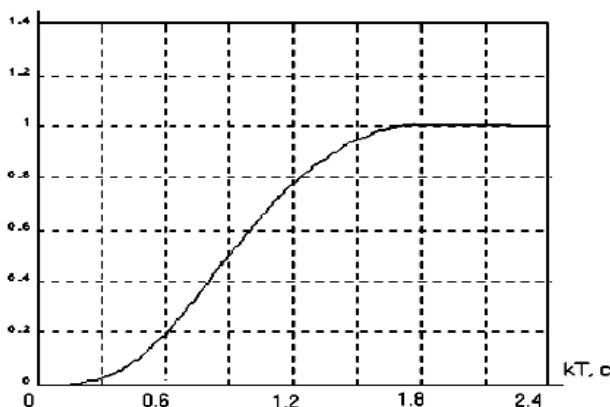


Рисунок 2 — Переходный процесс в системе с оптимальным управлением

### *Литература*

1. Файнберг Ю.М. Автоматизация непрерывных станов горячей прокатки. — М., 1963. — 326 с.
2. Рафиков Г.Ш., Тимонов А.В. Оптимальное управление взаимосвязанными валками универсального рельсобалочного прокатного стана по квадратичному критерию качества // Научные труды ДНТУ, серия: Вычислительная техника и автоматизация, выпуск 38. — Д., 2002г.
3. Кацухито Огата. Проектирование дискретных динамических систем с помощью MATLAB. Пер. с англ. — Нью-Йорк, 1987 г. — 252 с.
4. Системы автоматического управления с микроЭВМ./ В.Н. Дроздов. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1989. — 248с.:ил.
5. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1986. — 448 с.: ил.

Сдано в редакцию:

Рекомендовано к печати: д.т.н., проф. Спорыхин В.Я.