

СИНТЕЗ РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАЖИМНЫМИ ВИНТАМИ УНИВЕРСАЛЬНОГО РЕЛЬСОБАЛОЧНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «2-РИККАТИ ПОДХОДА»

Прищеп С.Н., группа СУА-09м
Руководитель проф. Хорхордин А.В.

Прокатный стан предназначен для формирования профилей прямоугольного сечения из нагретых металлических заготовок – блюмов. Желаемый профиль обеспечивается с помощью прокатных валков. Желаемая форма выдавливается из заготовки двумя парами цилиндрических валков (по одной на каждую из геометрических осей), которые перемещаются с помощью гидравлических приводов.

Задача управления состоит в обеспечении постоянства толщины проката по обеим осям в пределах заданных допусков. Отклонения в толщине профиля могут быть вызваны двумя причинами: вариацией толщины и твердости заготовки; наличием эксцентриситета прокатных валков.

Для того чтобы уменьшить влияние этих возмущений, необходимо регулировать величину зазора за счет введения контура обратной связи. Поскольку зазор между валками измерить сложно, то вместо измерения толщины профиля измеряется сила нажатия валков.

Отклонение толщины заготовки от номинального моделируется возмущением в виде "белого" шума w_i , пропущенного через фильтр низких частот с передаточной функцией [1]:

$$F_i(s) = \frac{K_{Fi}}{T_{Fi}s + 1}, \quad (1)$$

где K_{Fi} – коэффициент усиления; T_{Fi} – постоянная времени.

Возмущение, связанное с эксцентриситетом валков, – это функция, близкая к периодической, с частотой, равной частоте вращения валков. Приемлемая модель – возмущенный "белым" шумом w_e сигнал на выходе полосового фильтра второго порядка с передаточной функцией [1]:

$$F_e(s) = \frac{K_{F_e} s}{T_{F_i}^2 s^2 + 2\xi_{F_e} T_{F_e} s + 1}, \quad (2)$$

Передаточная функция гидропривода имеет вид:

$$H(s) = \frac{K_u}{T_u^2 s^2 + 2\xi_u T_u s + 1}. \quad (3)$$

На основе этих допущений можно построить следующую структурную схему для модели прокатки по каждой координатной оси:

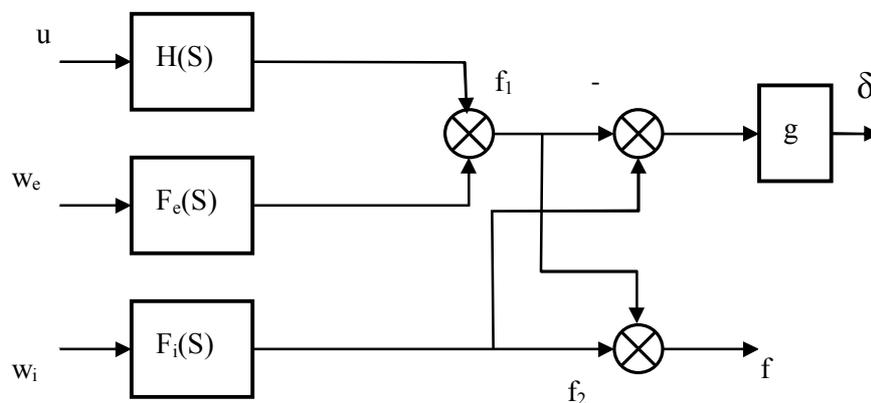


Рисунок 1 – Структурная схема процесса прокатки по каждой оси x и y

Сила нажатия валков - это комбинация силы, развиваемой гидравлическим приводом и возмущений, вызываемых эксцентриситетом валков, а также отклонением толщины заготовки от номинальной. Обращаясь к рисунку 1 можно отметить следующее: выходы f_1 и f_2 характеризуют отклонения силы нажатия валков от номинальной; увеличение силы, развиваемой гидравлическим приводом, или силы, вызванной эксцентриситетом валков,

приводит к уменьшению зазора между валками; увеличение толщины заготовки увеличивает этот зазор.

Стабилизация размеров сечения проката, по своей сути, является многомерной задачей. Можно спроектировать регуляторы для каждой оси, а затем замкнуть две одномерные системы, но только тогда, когда можно пренебречь взаимовлиянием приводов по каждой оси. В действительности это не так, и необходимо учитывать такое взаимовлияние. Эта взаимосвязь объясняется тем, что увеличение силы, развиваемой гидроприводом вдоль оси x при сжатии материала, вызывает дополнительную силу сопротивления на гидропривод по оси y . В результате уменьшается сила нажатия валков и увеличивается размер профиля проката по оси y . В структурной схеме (рис. 2) данная взаимосвязь учитывается введением коэффициентов перекрестных связей между каналами g_{yx} и g_{xy} .

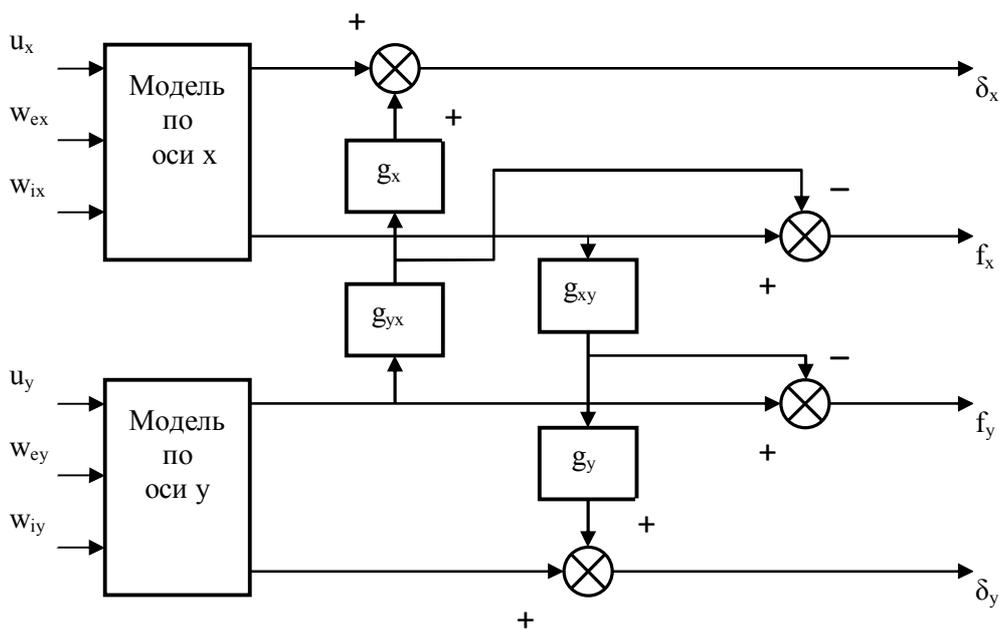


Рисунок 2 – Структурная схема взаимовлияния процессов по осям x и y

Для решения поставленной задачи необходимо синтезировать робастный регулятор, т.к. он менее чувствителен к воздействию возмущений на объект

управления. В данной статье рассматривается синтез робастного регулятора с использованием «2-Рикатти подхода», который в настоящее время принят в качестве стандарта в теории робастного управления.

Суть подхода заключается в том, что оптимальная задача заменяется субоптимальной. Метод «2-Риккати подхода» сочетает в себе классическую теорию автоматического управления и метод пространства состояний. Кроме того, данный подход позволяет разработчикам в процессе проектирования задавать требуемые характеристики качества и робастной устойчивости замкнутой системы.

Упрощенный алгоритм синтеза робастного регулятора можно представить последовательностью следующих действий [2]:

1. Задать некоторое значение γ – уровень толерантности; в численном виде показывает степень робастности исследуемой системы.

2. Найти стабилизирующее решение P первого матричного уравнения Лурье-Риккати (4), если решения не существует перейти к пункту 6.

$$A^T P + PA - P(B_2 B_2^T - \gamma^{-2} B_1 B_1^T)P + C_1^T Q C_1 = 0 \quad (4)$$

3. Найти стабилизирующее решение Ω второго матричного уравнения Лурье-Риккати (5), если решения не существует перейти к пункту 6.

$$A\Omega + \Omega A^T - \Omega(C_2^T C_2 - \gamma^{-2} C_1^T Q C_1)\Omega + B_1 B_1^T = 0 \quad (5)$$

4. Вычислить произведение матриц P и Ω , найти максимальное сингулярное число результирующей матрицы $\|W\|_\infty$, если оно больше γ , перейти к пункту 6.

5. Вычислить матрицы обратной связи регулятора и наблюдателя соответственно K и L , используя выражения (6) и (7).

$$K = B_2^T P, \quad (6)$$

$$L = (I - \gamma^{-2} P \Omega)^{-1} \Omega C_2^T. \quad (7)$$

6. Зафиксировать, что выбранное значение уровня толерантности недостижимо, перейти к пункту 2, предварительно увеличив значение γ .

Смоделировав систему и данный алгоритм синтеза робастного регулятора в пакете прикладных программ Matlab, получил следующие результаты:

Минимально возможное значение критерия толерантности $\gamma=0.08$.

Матрицы обратной связи регулятора и наблюдателя:

$$K = \begin{bmatrix} 0.0097 & 0.0014 & 0.0007 & 0 & 0 & 0.008 & 0.0006 & 0.0006 & 0.0001 & 0.0002 \\ 0.0161 & 0.0022 & 0.012 & 0 & 0 & 0.0627 & 0.0043 & 0.0046 & 0.0005 & 0.0018 \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$L = \begin{bmatrix} 0 & -0.1 & -0.1 & 0 \\ 0 & 0 & -0.1 & 0 \\ 0 & 0.4 & -0.67 & 0 \\ -0.01 & -0.2 & 4 & -0.4 \\ 0 & 13 & -2.03 & 0.19 \\ -0.01 & -0.001 & 0 & -0.001 \\ 0 & 0 & -0.05 & 0 \\ 0 & -0.5 & -0.31 & 0.05 \\ 0 & -0.002 & -0.02 & 0 \\ 0 & -0.13 & -0.057 & 0.0065 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Синтезированный регулятор имеет следующую структуру:

$$\begin{cases} \dot{\bar{x}}_p = A_p \bar{x} + B_p \bar{y} \\ \bar{y} = C_p \bar{x}_p \end{cases}, \quad (10)$$

$$\begin{cases} A_p = A - B_2 B_2^T P - (I - \gamma^{-2} \Omega P)^{-1} \Omega C_2^T C_2 + \gamma^{-2} B_1^T B_1 P \\ B_p = L \\ C_p = -K \\ D_p = 0 \end{cases}. \quad (11)$$

Для проверки работы синтезированного регулятора путем моделирования определяется реакция разомкнутой системы (без регулятора; пунктирная линия на рис. 3) и замкнутой системы (с робастным регулятором; сплошная линия) на возмущения.

Как видно из графика синтезированный робастный регулятор уменьшает отклонение толщины профиля примерно в четыре раза.

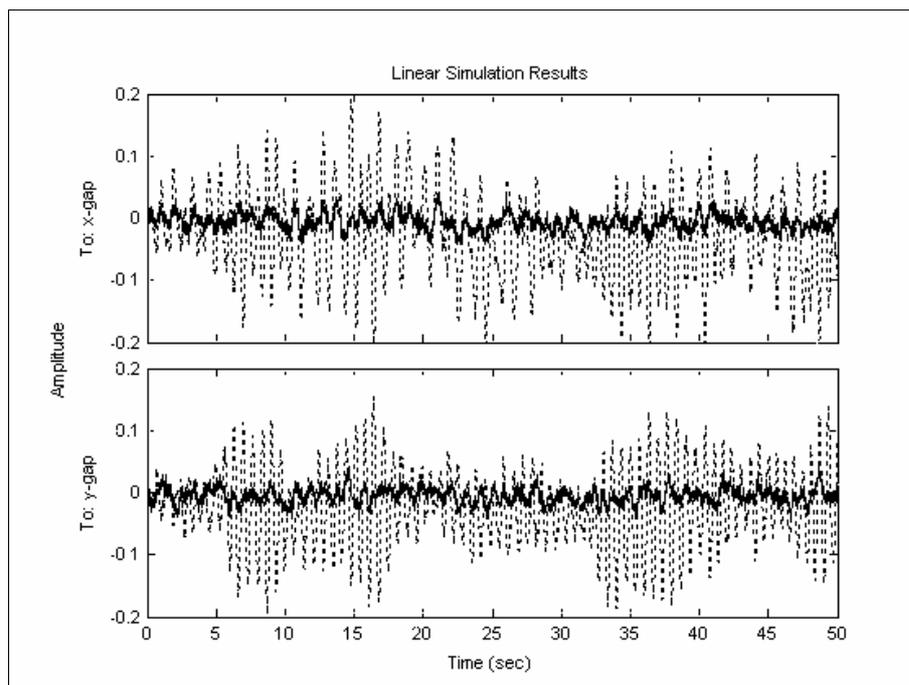


Рисунок 3 – Отклонение толщины заготовки по осям x и y

Вывод: В данной статье описан процесс синтеза робастной системы с использованием «2-Рикатти подхода»; полученные результаты, в частности уменьшение отклонения толщины профиля примерно в четыре раза, говорят об эффективности использования робастных регуляторов.

Перечень ссылок

1. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Control System Toolbox. Matlab 5 для студентов / Под ред. В.Г. Потемкина – М.: Диалог-МИФИ, 1999.– 228 с.
2. Барабанов А.Е., Первозванский А.А. Оптимизация по равномерно-частотным показателям (H^∞ -теория)//Автоматика и телемеханика. – 1992.– №9.– с. 3-32.
3. Методы классической и современной теории автоматического управления – Т.3: Методы современной теории автоматического управления. / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 748 с.