

УДК 62-23:621.3.082.22

## РАЗРАБОТКА ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТ СТАНКА

А.П. Муслимов, Н.С. Жолудева

Рассматривается схема и математическая модель двухконтурной системы автоматического управления режимами работ.

*Ключевые слова:* автоматическое управление технологическим процессом; стабилизация сил резания; гидростатические направляющие.

## DEVELOPMENT DUAL CIRCUIT SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL MODE OF OPERATION MACHINE

A.P. Muslimov, N.S. Zholudeva

It is considered the mathematical model of the scheme and two-contour system of automatic control mode of operation.

*Key words:* automatic control of technological process; stabilization of forces of cutting; the hydrostatic directing.

Повышение точности изготовления деталей на каждой из операций технологического процесса позволяет значительно повысить производительность на последующей за счет меньших отклонений припуска на обработку. Для получения высокой точности размеров деталей и высокой чистоты обрабатываемой поверхности необходимо, чтобы подача и упругое перемещение резца ( $\delta$ ) были постоянно независимы от нагрузки.

Достичь этого можно путем создания двухконтурной автоматической системы управления, которая применяется при проектировании высокоточных станков, предназначенных для чистовой обработки изделий в машиностроении.

Конструкция, приведенная на рисунке 1, состоит из станины (опоры) 1 на которой установлен суппорт станка с гидроцилиндром 2. На суппорте станка установлен режущий инструмент 3, также на нем установлен индуктивный датчик 4, который соединен с двумя электрическими усилителями У1 и У2. Выход каждого усилителя стыкуется со своим электромагнитным движителем ЭМ1 и ЭМ2, якоря которых связаны с регуляторами расхода. Выход каждого регулятора подключен к своему потребителю, т.е. к гидроцилиндру и гидростатической опоре. Перепад давления на регуляторах расхода является постоянным благодаря редукционным клапанам РК. Преобразователь частоты 10

предназначен для регулирования частоты колебания золотника дискретного регулятора расхода.

Работа автоматики основана на принципе обратной связи. Изменение зазора в гидростатических направляющих вызывает изменение выходного сигнала индуктивного датчика. Сигнал от датчика поступает на вход усилителей У1 и У2. Усиленные сигналы соответственно идут к электромагниту ЭМ1, который управляет величиной открытия щели  $h$  регулятора расхода в силовой цилиндр и электро-

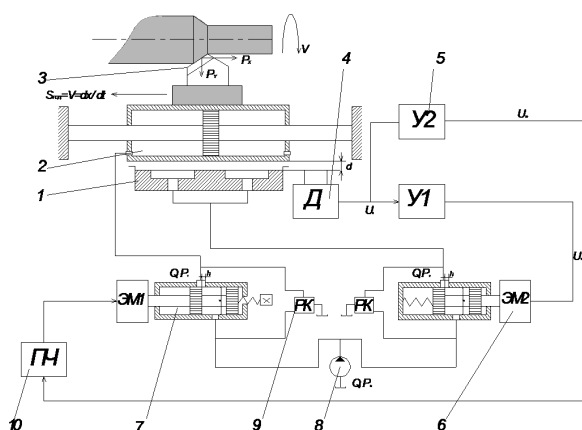


Рисунок 1 – Принципиальная схема двухконтурной системы автоматического управления скоростью и зазором

магниту ЭМ2, преобразователю частоты, регулирующему частоту колебания регулятора расхода для гидростатических направляющих.

При увеличении силы резания уменьшается скорость подачи инструмента и зазор в гидростатических направляющих. Для восстановления их заданных значений в соответствующие силовые органы подается дополнительный расход путем увеличения величины открытия щелей  $h$  и частоты колебания регуляторов. Увеличение или уменьшение расхода в рабочие органы приводит к уменьшению погрешностей, возникающих в процессе обработки.

Для определения реальных параметров системы необходимо выполнить динамический расчет. Рассмотрим математическую модель системы, которая теоретически будет испытана рабочей нагрузкой с наличием системы регулирования и без нее.

Математическая модель системы:

$$\frac{M}{k_j} \cdot \frac{d^2 h}{dt^2} + \frac{R_0 \cdot S_f^2}{k_j} \cdot \frac{dh}{dt} + h = Q \cdot \frac{R_0 \cdot S_f}{k_j} - \frac{P_n}{k_j} \quad (1)$$

Параметры самой гидростатической опоры

Масса:

$$M = 80 \text{ кг.}$$

Рабочая площадь опор :

$$S_f = 0,047 \text{ м}^2.$$

Заданный зазор:

$$h_z = 0,00006 \text{ м.}$$

Вес самого стола:

$$P = 794,3 \text{ кг.}$$

Действие со стороны инструмента:

$$P_y = 500 \text{ Н.}$$

Полная статическая нагрузка:

$$P_n = P + P_y,$$

$$P_n = 1,3 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}.$$

Требуемый расход без нагрузки:

$$Q_0 = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}.$$

Требуемый расход для регулирования:

$$Q = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}.$$

Общее гидравлическое сопротивление зазора в опоре:

$$R_0 = 1,023 \cdot 10^8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-4} \cdot \text{с}^{-2}.$$

Коэффициент упругого сжатия:

$$k_j = 1,3 \cdot 10^7 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2}.$$

Коэффициент по управлению:

$$k_0 = R_0 \cdot S_f; k_0 = 4,7 \cdot 10^6 : 3 \cdot 10^{-2} \cdot \text{А}^{-1}.$$

Коэффициент усиления:

$$k_n = \frac{1}{k_j}.$$

Математическую модель звена для удобства можно представить в следующем виде:

$$(T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1) \cdot h = Q \cdot k_0 \cdot k_n - P_y \cdot k_n. \quad (2)$$

Временные характеристики переходного процесса:

$$T_1 = \frac{R_0 \cdot S_f^2}{k_j}, \quad T_2 = \sqrt{\frac{M}{k_j}},$$

$$T_1 = 0,017 \text{ с}, \quad T_2 = 2,437 \cdot 10^{-3} \text{ с},$$

$$T_3 = \frac{T_1}{2} + \sqrt{\frac{T_1^2}{4} - T_2^2}, \quad T_4 = \frac{T_1}{2} + \sqrt{\frac{T_1^2}{4} - T_2^2},$$

$$T_3 = 0,017 \text{ с}, \quad T_4 = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

Передаточное отношение по управлению:

$$W(p) = \frac{k_0 \cdot k_n}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}. \quad (3)$$

Передаточное отношение по возмущению:

$$W(p) = \frac{-k_n}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}. \quad (4)$$

**Система без регулирования** (рисунок 2)

Уравнение движения по управлению:

$$h1(t) = k_0 \cdot Q_0 \cdot k_n \cdot \left( 1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} \right), \quad (5)$$

$$h1(t) = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Уравнение движения по возмущению:

$$h2(t) = -k_n \cdot P_y \cdot \left( 1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} \right),$$

$$h2(t) = -3,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}. \quad (6)$$

Общее уравнение:

$$h(t) = (k_0 \cdot Q_0 \cdot k_n - k_n \cdot P_y) \cdot$$

$$\left( 1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} \right),$$

$$h(0,5 \text{ с}) = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}. \quad (7)$$

**Система при регулировании** (рисунок 3)

Уравнение движения по управлению:

$$h1(t) = k_0 \cdot Q \cdot k_n \cdot$$

$$\left( 1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} \right),$$

$$h1(t) = 9,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}. \quad (8)$$

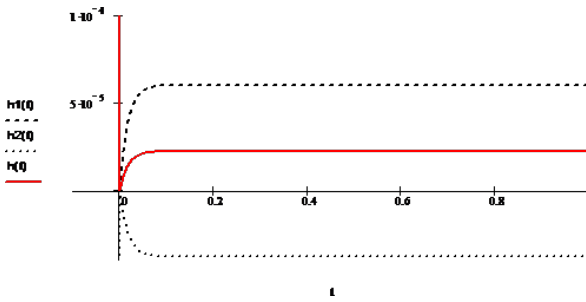


Рисунок 2 – График изменения зазора (система без регулирования)

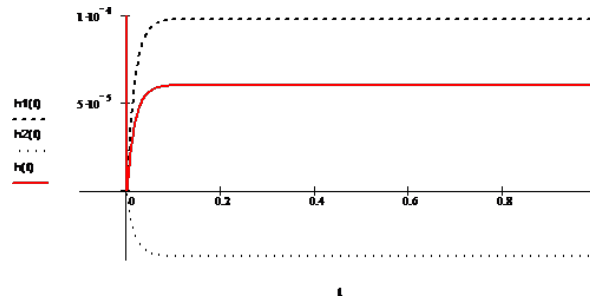


Рисунок 3 – График изменения зазора (система при регулировании)

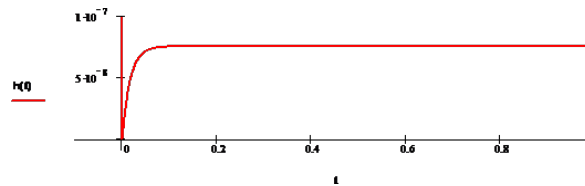


Рисунок 4 – График переходной функции

Уравнение движения по возмущению:

$$h_2(t) = -k_n \cdot P_y \cdot \left( 1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} \right),$$

$$h_2(t) = -3,776 \cdot 10^{-5} \text{ m.} \quad (9)$$

Общее уравнение:

$$h(t) = (k_0 \cdot Q \cdot k_n - k_n \cdot P_y) \cdot \left( 1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} \right),$$

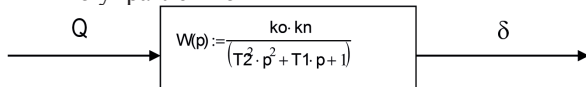
$$h(0,5s) = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ m.} \quad (10)$$

Переходная функция (рисунок 4)

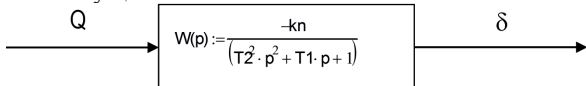
$$h(t) = k_n \cdot \left( 1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} \cdot e^{-\frac{t}{T_4}} \right). \quad (11)$$

Схема звена на чертеже

По управлению



по возмущению



Таким образом, разработанная принципиальная схема двухконтурной системы автоматического управления скоростью и зазором позволяет производить расчет основных массово-геометрических и режимных параметров системы. Произведен динамический расчет системы, определяющий ее реальные параметры.

Преимуществами предлагаемой двухконтурной автоматической системы управления скоростью и величиной зазора является:

- 1) универсальность схемы, т.е. возможность ее применения к любым станкам;
- 2) повышенная точность и чистота обрабатываемой поверхности;
- 3) повышается производительность оборудования за счет уменьшения количества операций.

#### Литература

1. Ачеркан Н.С., Гаврюшин А.А., Ермаков В.В. и др. Металлорежущие станки / Н.С. Ачеркан, А.А. Гаврюшин, В.В. Ермаков. М.: Машиностроение, 1965.
2. Теория машин-автоматов и пневмогидроприводов / под. ред. Л.В. Петрокаса. М.: Машиностроение, 1970.
3. Чупраков Ю.И. Основы гидро- и пневмоприводов / Ю.И. Чупраков. М.: Машиностроение, 1966.
4. Герц Е.В. Расчет и проектирование гидравлических систем машин автоматом / Е.В. Герц. М.: Машиностроение, 1966.