ЛИТЕРАТУРА

1. Ахвердов И.Н. Физика бетона. М., Стройиздат, 1981, 180 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. М., Высшая школа, 1987, 234 с.
3. Воронин К.М., Гаркави М.С. и др. О возможности получения высококачественного щебня //М., Строительные материалы, 1989, №8, с.52-55.
4. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. М., Высшая школа, 1991, 396 с.
5. Вавилов А.В., Елемес Д.Е., Коробова О.А., Ликунов А.В. Процесс грохочения со сложным возбуждением материала на плоских инерционных грохотах /Материалы II науч.-практ. конф «Научный прогресс на рубеже тысячелетий 2007», т.14. «Технические науки». – Днепропетровск: Наука и образование, 2007, с. 62-66.
6. Сурашов Н.Т., Дудкин М.В.,.Елемес Д.Е Жол құрылысында кен емес материалдарды сұрыптау процесін жетілдіру //Д.Серікбаев атындағы ШҚМТУ хабаршысы = Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, 2009, №4, с. 85-87.

УДК 621.658.011.54/011.56
Еренчинов Данияр Кагазбекович – к.т.н., Советник Президента
(Алматы, АО «ДАСУ»)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ДИСКОВ С РЕГУЛЯТОРОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА ПОЛУАВТОМАТА Д7

Шаровые краны, как запорная арматура, давно уже стали неотъемлемыми элементами трубопроводов различного назначения. Однако, наличие в пробках сквозного отверстия и паза под шпиндель не позволяют применять известные высокопроизводительные способы финишной обработки, используемые в подшипниковом производстве, так как эти способы предполагают доводку партии высокоточных шариков между двумя дисками в кольцевых пазах с конусными или плоскими поверхностями.

Известные способы чистовой обработки: притирка пробки двумя притирами, шлифование пробок чашечным кругом, притирка одним плавающим притиром, шлифование пробки при установке ее на центровую оправку, алмазное хонингование, обкатывание пробки шариковым или роликовым обкатником, обтачивание алмазным резцом обладают общим существенным недостатком – низкой производительностью.

Исходя из изложенного, в АО «ДАСУ» разработан станок-полуавтомат Д7, реализующий способ финишной обработки пробок шаровых кранов обкатыванием в торовом желобе между двумя дисками. Шпиндель верхнего диска приводится во вращение клиноременной передачей. Вращающийся диск прижимается к обрабатываемым пробкам, размещенным на неподвижном диске пневмоцилиндра через полые шпиндели.

Исследования работы станка показали, что давление на выходе пневмоцилиндра нестабильно и оказывает существенное влияние на качество и производительность обработки.

Технико-экономические и эксплуатационные требования станка обусловили необходимость поиска и исследования адекватной системы автоматического регулирования давления на выходе пневмоцилиндра.

В данной работе приводится случай, когда уравнение динамики регулируемого объекта имеет вид:

$$T_0 \frac{d\Delta p}{dt} + \Delta p = K_0 \Delta Q + f(t) \ , \qquad (1)$$

а уравнение динамики регулятора:

$$T_k^2\frac{d^2\Delta Q}{dt}+Tg\frac{d\Delta Q}{dt}+\Delta Q=-K_{рег}\Delta p\,, \qquad (2)$$

где T_k^2 и Tg - постоянные времени регулятора, характеризующие соответственно раскачивание колебаний [1].

Для исследования процесса регулирования $\Delta P(t)$ составим уравнение динамики всей системы автоматического регулирования.

Выразим из (1) величину $K_0\Delta Q$ и продифференцируем ее по времени два раза:

$$K_0\Delta Q=T_0\frac{d\Delta p}{dt}+\Delta p-f(t)$$

$$K_0\frac{d\Delta Q}{dt}=T_0\frac{d^2\Delta p}{dt^2}+\frac{d\Delta p}{dt}-\frac{df}{dt}$$

$$K_0\frac{d^2\Delta Q}{dt^2}=T_0\frac{d^3\Delta p}{dt^3}+\frac{d^2\Delta p}{dt^2}-\frac{d^2f}{dt}$$

Подставив всё это в уравнение (2), умножив его предварительно на K_0, получим искомое уравнение динамики системы регулирования:

$$T_0T_k^2\frac{d^3\Delta p}{dt^3}+\left(T_0T_g+T_k^2\right)\frac{d^2\Delta p}{dt^2}+\left(T_0+T_g\right)\frac{d\Delta p}{dt}+\left(1+K_0K_{рег}\right)\Delta p=T_k^2\frac{d^2f}{dt^2}+T_g\frac{df}{dt}+f(t) \qquad (3)$$

Характеристическое уравнение для него будет алгебраическим уравнением третьей степени:

$$T_0T_k^2p^3+\left(T_0T_g+T_k^2\right)p^2+\left(T_0+T_g\right)p+\left(1+K_0K_{рег}\right)=0$$

При положительных коэффициентах уравнения возможны три варианта:

1) все три корня вещественные отрицательные:

$$p_1=-\frac{1}{T_a};\ p_2=-\frac{1}{T_b};\ p_3=-\frac{1}{T_c} \qquad (4)$$

2) один корень вещественный отрицательный, а два комплексные с отрицательной вещественной частью:

$$p_1=-\frac{1}{T_a};\ p_2=-\frac{1}{T_b}\pm j\omega \qquad (5)$$

3) один корень вещественный отрицательный, а два комплексные с положительной вещественной частью:

$$p_1=-\frac{1}{T_a};\ p_2=-\frac{1}{T_b}\pm j\omega \qquad (6)$$

Решение для переходного процесса в случае (4) будет суммой трёх экспонент:

$$\Delta P_{пер}=c_1e^{-\frac{t}{Ta}}+c_2e^{-\frac{t}{Tb}}+c_3e^{-\frac{t}{Tc}} \qquad (7)$$

В случае (5) - суммы экспонент и затухающей синусоиды:

$$\Delta P_{пер}=c_1e^{-\frac{t}{Ta}}+c_2e^{-\frac{t}{Tb}}\sin\left(\omega t+C_g\right). \qquad (8)$$

В случае (6) - суммы экспонент и расходящееся синусоиды

$$\Delta P_{пер}=c_1e^{-\frac{t}{Ta}}+c_2e^{-\frac{t}{Tb}}\sin\left(\omega t+C_g\right). \qquad (9)$$

Произвольные постоянные C_1, C_2 и C_3 определяются во всех случаях из начальных условий.

Для устойчивости системы второго порядка достаточно (как и в системе первого порядка), чтобы все коэффициенты левой части общего уравнения были бы положительными. Это является одновременно условием правильного присоединения регулятора к объекту, так как регулятор должен давать на объект воздействие такого направления, чтобы уничтожить возникшее отклонение регулируемого параметра. Критерий устойчивости Рауса-Гурвица, называемый алгебраическим, система третьего порядка (3 случай) формулируемая следующим образом. Пусть левая часть дифференциального уравнения системы автоматического регулирования в общем виде составляет:

$$a_0 \frac{d^3x}{dt^3} + a_1 \frac{d^2x}{dt^3} + a_2 \frac{dx}{dt} + a_3 x \quad , \tag{10}$$

(вид правой части для устойчивости не играет роли).
Для устойчивости системы необходимо и достаточно:

1) чтобы все коэффициенты были положительными

$$a_0 > 0; a_1 > 0;\ a_2 > 0; a_3 > 0 \quad , \tag{11}$$

2) чтобы произведение средних коэффициентов было больше, чем произведение крайних коэффициентов

$$a_1 a_2 > a_0 a_3 \ . \tag{12}$$

Соблюдение этих условий обеспечивает отрицательность вещественной части всех корней характеристического уравнения.

Для нашего случая согласно (3) будет

$$\left.\begin{array}{l} a_0 = T_0 T_k^2;\ \ a_1 = T_0 T_g + T_k^2 \\ a_2 = T_0 T_g;\ \ a_3 = 1 + K_0 K_{рег} \end{array}\right\} \tag{13}$$

Первое условие (11) обеспечено правильным присоединением регулятора. Второе условие устойчивости (12) выразится согласно (13) в виде:

$$\left(T_0 T_g + T_k^2\right)\left(T_0 + T_g\right) > T_0 T_k^2 (1 + K_0 K_{рег}),$$

откуда

$$K_{рег} < \left(\frac{1}{T_0} + \frac{T_0 + T_g}{T_k^2}\right)\frac{T_g}{K_0} \tag{14}$$

Это часть ограничения, накладываемое динамикой процесса регулирования на увеличение K, в то время как для уменьшения статической ошибки надо брать K как можно больше.

Выводы:

1. Доказано, что присоединение автоматического регулятора к объекту позволяет существенно улучшить динамические качества объекта: уменьшение длительности переходного процесса и статической ошибки регулирования в $(1 + K_0 K_{рег})$ раз, при этом обеспечивается устойчивая работа системы.
2. Выведенные выше формулы и соотношения позволяют повысить уровень технической обработки и проектировать оборудование применительно к изготовлению изделия любого типа, размеров и назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1.Попов Е.П. Динамика систем автоматического регулирования. М., Наука, 2004, 240 с.