

щая непосредственно получить распределение температурных перемещений в упругом теле. Разработанный подход применен для нахождения полей напряжений и перемещений в цилиндре, изготовленном из материалов с разными теплофизическими и механическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко А. Д. Термоупругость / А. Д. Коваленко. — К.: Издательское объединение «Вища школа», 1975. — 216 с.
2. Заяц В.И., Новикова О.С. Решение трехмерной нестационарной задачи теплопроводности в вариационной постановке. — Восточно-Европейский журнал передовых технологий //научный журнал. - Харьков: Технологический центр, 2011. - №1/8 (49). – С. 31 – 35. — ISSN: 1729-3774
3. Сеге Г. Ортогональные многочлены./ Г Сеге. — Гос. издательство физ.-мат. лит., 1962. — 500 с.
4. Колмогоров В.Л. Метод расчета напряженно-деформированного состояния в общей краевой задаче развитого течения. / В.Л. Колмогоров //Вестник ПГТУ. Механика. — 1995.—№2. — С.87- 98.
5. Беляев Н.М. Методы теории теплопроводности. Ч. 1. / Н.М. Беляев, А.А. Рядно —М.: Высш. школа, 1982. — 327с. (1)
6. Крутков Ю.А. Тензор функций напряжений и общие решения в статике теории упругости. Издательство академии наук СССР., Москва, Ленинград. 1949, 199с.
7. Мелан Э, Паркус Г. Термоупругие напряжения, вызываемые стационарными температурными полями. М., Физматгиз, 1958, 166с.

пост. 25.12.2011

Математическая модель следящей системы контроля уровня щепы в варочном котле

КАМЕЛЬ Г.И.

Днепродзержинский государственный технический университет

Разработана математическая модель и структурная схема следящей системы контроля за уровнем щепы в варочном котле.

Rozrobлена математична модель і структурна схема слідячої системи контролю за рівнем тріски у варильному котлі.

The mathematical model and the structural scheme of the watching system of the chip's level control in the boiler were elaborated.

Введение. Система регулирования древесной щепы в верхней части варочного котла должна обеспечить: 1) постоянный уровень щепы; 2) стабильную скорость ее продвижения вниз; 3) необходимую длительность пребывания щепы в варочной зоне.

Все требования должна обеспечить гидротранспортная система непрерывной подачи щепы, которая включает в себя, ленточный конвейер, дозатор щепы, гидротранспорт низкого 0,15 МПа и высокого давления 1,2 МПа.

Анализ публикаций. В настоящее время при производстве товарной целлюлозы из древесного сырья требуется получать не только большое количество, но и качество готовой продукции. Для этого необходимо надежное регулирование поступления древесного сырья в варочный котел непрерывно в течение года. Уровень древесного сырья в верхней части варочного котла должен автоматически регулироваться с помощью дозатора щепы гидротранспортной системы. В ряде работ [1,2] имеются сведения о создании автоматизированных систем по управлению технологическими процессами в

установках непрерывной подачи щепы в варочный котел.

Цель исследований. Целью исследования является создание математической следящей системы по управлению уровнем щепы в верхней части варочного котла за счет регулирования частоты вращения ротора дозатора щепы.

Изложение основных результатов. Система автоматического регулирования транспортной системы непрерывной подачи древесной щепы является сложным устройством, динамика которых описывается совокупностью дифференциальных уравнений. Рассмотрим следящую систему, принципиальная схема которой приведена на рис.1. Задающим устройством является командная ось, вращаемая извне по произвольному закону $\varphi_1 = \varphi_1(t)$. Этот угол должен повторяться на управляемом объекте (УО), ось которого является исполнительной осью ИО. Мощность, которую может потреблять для своего вращения управляемый объект, значительно меньше и обеспечивается установкой двигателя Д. В этом, а также в дистанционности

управления заключается смысл использования подобной следящей системы воспроизведения угла поворота.

управления заключается смысл использования подобной следящей системы воспроизведения угла поворота.

Сравнение углов поворота командной φ_1 и исполнительной φ_2 осей осуществляется при помощи двух потенциометров Π_1 и Π_2 . Если углы поворота командной и исполнительной осей не равны, $\varphi_1 \neq \varphi_2$, то возникает напряжение рассогласования U , которое поступает на вход первого электронного усилителя. Далее усиленный сигнал после прохождения через два электронных усилителя подводится к обмотке возбуждения генератора (ОВГ), привод которого не показан на схеме. Якорь преобразователя Π соединяется с якорем двигателя Δ , обмотка которого (ОВД) подключена к постоянному напряжению. В результате при появлении рассогласования $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ двигатель начинает вращаться в сторону уменьшения ошибки до согласования двух осей. Управляющим воздействием здесь является угол поворота $\varphi_1(t)$. В качестве возмущающего воздействия используется момент нагрузки $M(t)$ на оси вала грузочного устройства варочного котла. При повышении уровня щепы в варочном котле возрастает нагрузка на витки вращающегося витка, что приводит к резкому возрастанию момента нагрузки $M(t)$ и к увеличению рассогласования $\varphi_1 - \varphi_2$.

Для улучшения динамических характеристик транспортной следящей системы в ней предусмотрена отрицательная обратная связь по напряжению тахогенератора (ТГ).

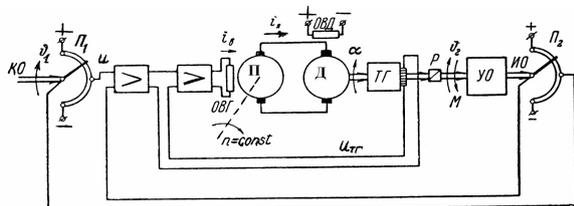


Рис. 1. Принципиальная схема следящей системы уровне древесной щепы в варочном котле непрерывной варки целлюлозы: КО – командная ось задающего устройства, вращаемая из вне по произвольному закону $\varphi_1 = \varphi_1(t)$; $\varphi_1(t)$ – угол поворота; Д – двигатель; П – преобразователь; УО - управляемый объект – уровень щепы; Π_1 и Π_2 – потенциометры; φ_1 и φ_2 – углы поворота командной и исполнительной осей, град; ОВГ – обмотка возбуждения двигателя; ТГ – тахогенератор; М – момент нагрузки на вал грузки; УО – ось управляемого объекта; ИО - исполнительная ось; e – электродвижущая сила, В; i_a и i_b – ток якоря и ток возбуждения, А; u – напряжение рассогласования, В; α – угол поворота, град.

Предварительный анализ показал, что все звенья следящей системы линейны за исключением преобразователя (электромагнитного усилителя) у которого электродвижущая сила не связана с точкой возбуждения нелинейной кривой намагничивания генератора. Однако, при небольших напряжениях якоря зависимость между e и i_b можно считать линейной.

Таким образом, в рассматриваемой системе отпадает необходимость линеаризации и можно сразу приступить к составлению уравнений. В табл. 1 приве-

дены динамические звенья и передаточные функции следующей транспортной системы.

Таблица 1. Наименование динамических звеньев и их передаточные функции следящей транспортной системы

№ п/п	Наименование динамического звена	Передаточная функция
1	Чувствительный элемент (напряжение на выходе потенциометра)	$W_1(P) = K_1$
2	Электронные усилители	$W_2(P) = K_2$; $W_3(P) = K_3$
3	Обмотка возбуждения генератора	$W_4(P) = \frac{K_3}{1 + T_3 \cdot P}$
4	Генератор	$W_5(P) = K_5$
5	Двигатель (связь угла поворота α с ЭОС генератора)	$W_6(P) = \frac{1}{C_E \cdot P(1 + T_M \cdot P + T_H \cdot T_M \cdot P^2)}$
6	Двигатель (связь угла поворота α с моментом М, приложенным к его оси)	$W_7(P) = \frac{r_{Я}(1 + T_{Я} \cdot P)}{C_E \cdot C_M \cdot P(1 + T_M \cdot P + T_H \cdot T_M \cdot P^2)}$
7	Тахогенератор	$W_8(P) = K_8 \cdot P$

Все звенья следящей системы, кроме тахогенератора, включены последовательно. Это отображено на структурной схеме (Рис. 2).

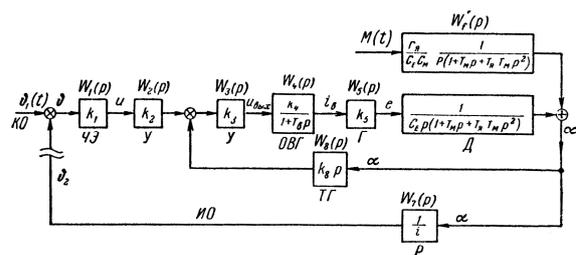


Рис. 2. Структурная схема следящей транспортной системы

Тахогенератор включен в цепь местной обратной связи. Размыкая главную цепь системы (рис. 2), получаем передаточную функцию разомкнутой системы:

$$W(P) = W_1(P) \cdot W_2(P) \times \frac{W_3(P) \cdot W_4(P) \cdot W_5(P) \cdot W_6(P) \cdot W_7(P)}{1 + W_3(P) \cdot W_4(P) \cdot W_5(P) \cdot W_6(P) \cdot W_8(P)} \quad (1)$$

После подстановки выражение для передаточных функций звеньев получим:

$$W(P) = \frac{k}{P \left[(1 + T \cdot P) \left((1 + T_M \cdot P + T_B \cdot T_M \cdot P^2) + k_{oc} \right) \right]}, \quad (2)$$

Здесь введен общий коэффициент усиления цепи регулирования без учета действия местной обратной связи

$$k = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5}{i \cdot C_E} \quad [1/\text{сек}], \quad (3)$$

где C_E – коэффициент пропорциональности и коэффициент усиления по цепи обратной местной обратной связи.

$$k_{oc} = \frac{k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_8}{C_E} \quad (4)$$

Выражение (2) можно преобразовать в ином виде

$$W(P) = \frac{k}{P(1 + a \cdot P + b \cdot P^2 + c \cdot P^3)} \quad (5)$$

где $a = \frac{T_M + T_B}{1 + k_{oc}}$; $b = \frac{(T_M + T_B) \cdot T_M}{1 + k_{oc}}$; $c = \frac{T_M \cdot T_B}{1 + k_{oc}}$ (6)

Результирующий коэффициент усиления основной цепи с учетом действия местной обратной связи, называемый также добротностью по скорости, будет:

$$k = \frac{k}{1 + k_{oc}} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5}{i \cdot C_E (1 + k_{oc})} \quad [1/\text{сек}], \quad (7)$$

Найдем операторные выражения для регулируемой величины φ_2 и ошибки φ по общим символическим (операторным) дифференциальным уравнениям. Для этого найдем передаточную функцию по возмущению, $W_f(P)$, связывающую угол поворота φ_2 с возмущением M при разомкнутой главной цепи, но замкнутой цепи местной обратной главной связи. Из структурной схемы (рис. 2) при разомкнутой главной местной обратной связи будет

$$\varphi_2 = \frac{W_f'(P)}{i} M, \quad (8)$$

где i – передаточное отношение редуктора.

При замыкании местной обратной связи в соответствии с формулой результирующей передаточной функции получим

$$\varphi_2 = \frac{W_f'(P)}{i} \times \frac{1}{1 + W_3(P) \cdot W_4(P) \cdot W_5(P) \cdot W_6(P) \cdot W_8(P)} M, \quad (9)$$

откуда искомая передаточная функция по возмущению

$$W_f = \frac{W_f'(P)}{i} \cdot \frac{1}{1 + W_3(P) \cdot W_4(P) \cdot W_5(P) \cdot W_6(P) \cdot W_8(P)} = \frac{r_B}{i \cdot C_E \cdot C_M} \cdot \frac{1 + (1 + T_M \cdot P)(1 + T_B \cdot P)}{\left[(1 + T_B \cdot P)(1 + T_M \cdot P + T_M \cdot P \cdot T_B \cdot P^2) + k_{oc} \right]} = \frac{r_B}{i \cdot C_E \cdot C_M (1 + k_{oc})} \cdot \frac{(1 + T_M \cdot P)(1 + T_B \cdot P)}{P(1 + a \cdot P + b \cdot P^2 + c \cdot P^3)} \quad (10)$$

где k_{oc} , a , b и c определяются формулами (4) и (6).

Имея теперь значения передаточных функций $W(P)$ и $W_f(P)$ по общим дифференциальным уравнениям

находим операторное выражение для регулируемой величины

$$\varphi_2 = \frac{k \cdot \varphi_1}{P(1 + a \cdot P + b \cdot P^2 + c \cdot P^3)} = \frac{r_B}{i \cdot C_E \cdot C_M (1 + k_{oc})} \cdot \frac{(1 + T_M \cdot P)(1 + T_B \cdot P)M}{P(1 + a \cdot P + b \cdot P^2 + c \cdot P^3) + k} \quad (11)$$

и для ошибки

$$\varphi = \frac{P(1 + a \cdot P + b \cdot P^2 + c \cdot P^3)}{P(1 + a \cdot P + b \cdot P^2 + c \cdot P^3) + k} + \frac{r_B}{i \cdot C_E \cdot C_M (1 + k_{oc})} \cdot \frac{(1 + T_M \cdot P)(1 + T_B \cdot P)M}{P(1 + a \cdot P + b \cdot P^2 + c \cdot P^3) + k} \quad (12)$$

из (12) можно, в частности, получить установившуюся ошибку в неподвижном положении при $\varphi_1(t) = const$ и $\varphi_1 M(t) = M_0 = const$. Для этого необходимо в (12) положить $P = 0$, тогда

$$\varphi_{cn} = \frac{r_B \cdot M_0}{i \cdot C_E \cdot C_M (1 + k_{oc}) k} = \frac{r_B \cdot M_0}{C_M \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5} = \frac{M_0}{k_M}, \quad (13)$$

Из формулы (13) видно, что в неподвижном положении ошибка определяется только моментом нагрузки на вал загрузочного устройства варочного котла (возмущающим воздействием). Это означает, что рассматриваемая следящая система обладает астатизмом относительно управляющего воздействия φ_1 и статизмом относительно (возмущающегося воздействия) сопротивления на винт загрузочного устройства варочного котла.

Выводы

Анализ полученных результатов показал, что разработанная математическая модель следящей транспортной системы загрузки щепой варочного котла адекватна, и позволяет управлять: 1) уровнем щепы в варочном котле; 2) стабилизировать скорость опускания щепы вниз; 3) длительностью пребывания щепы в варочной зоне. При возрастании уровня щепы в варочном котле возрастает, нагрузка на вал загрузочного устройства, что приводит к возрастанию момента сопротивления. В результате имеет место рассогласование углов поворота командной и исполнительных осей. При этом частота вращения дозатора щепы уменьшается, что ведет к замедлению поступления щепы в варочный котел.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВСН 281-75, Временные указания по проектированию систем автоматизации технологических процессов. – М.: Стройиздат, 1976. – 32с.
2. Нечаев Г.И. Повышение производительности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной варки целлюлозы и полуцеллюлозы: Монография / Г.И. Нечаев., Г.И. Камель // – Луганск: Из-во СНУ им. В. Даля, 2005. – 392 с.

