

УДК 65.011.56

UDC 65.011.56

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СТАБИЛИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ПАРА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

AUTOMATION OF THE PROCESS OF STABILIZATION OF PRESSURE OF STEAM IN THE PRODUCTION OF ORGANIC FERTILIZERS

Пиотровский Дмитрий Леонидович
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов

Piotrovskiy Dmitriy Leonidovich
Dr.Sci.Tech., professor

Князькина Татьяна Геннадьевна
магистрант кафедры автоматизации производственных процессов

Knyazkina Tatyana Gennadievna
master student of the Department of automation of production processes

Левченко Владимир Иванович
к.т.н., доцент
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия

Levchenko Vladimir Ivanovich
Cand.Tech.Sci., assistant professor.
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

В статье произведен расчет оптимальных параметров стабилизации давления пара в паровом котле путем изменения подачи топлива, рассмотрены вопросы

In the article we have shown the calculation of optimal parameters of stabilization of pressure of steam in the boiler with changing the fuel supply

Ключевые слова: ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР, ПЕРЕХОДНЫЕ ФУНКЦИИ, РЕГУЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПАРА

Keywords: DIGITAL CONTROLLER, TRANSITION FUNCTIONS, REGULATION OF STEAM PRESSURE

При производстве органических удобрений в биореакторе [1] регулирование температурой осуществляется путем подачи пара в термобашку, при этом для производства пара предусмотрена установка на регулирующем органе подачи топлива в котел исполнительного механизма постоянной скорости с постоянной времени сервомотора 1 минута.

Проведем расчет оптимальных параметров одного контура управления – стабилизации давления пара в паровом котле путем изменения подачи топлива.

Оптимальными будем считать параметры цифрового регулятора, обеспечивающие относительную степень затухания $\gamma = 0,99$ (практически апериодический переходный процесс) и минимум $\int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| dt$.

Существуют два показателя степени затухания:

Ψ - относительная степень затухания;

m - логарифмический декремент затухания, которые связаны между собой следующим далее соотношением:

$$\psi = 1 - e^{-2\pi m}, \tag{1}$$

Определим значение логарифмического декремента затухания m :

$$m = \frac{-\ln(1-\psi)}{2\pi}, \quad (2)$$

Если отнести сервомотор к регулятору, то передаточная функция нашего исходного объекта имеет следующий далее вид:

$$W_0(p) = \frac{1,2}{5p^2+6p+1}, \quad (3)$$

$$\frac{1}{W_0(m, jw)} = W_0(m, jw) = \operatorname{Re}(m, w) + j\operatorname{Im}(m, w), \quad (4)$$

Формула (4) представляет собой инверсную расширенную амплитудно-фазовую характеристику объекта.

Для определения оптимальных параметров регулятора необходимо решить уравнение (4). Приравняв вещественные и мнимые части в уравнении (4), можно получить расчетные формулы для определения параметров регуляторов:

$$C_0 = w(m^2 + 1)[\operatorname{Im}^*(m, w) + C_2 w],$$

$$C_2 = m\operatorname{Im}^*(m, w) - \operatorname{Re}^*(m, w) + 2mwC_2.$$

где $C_0 = 1/T_i$; $C_1 = K_p$; $C_2 = T_d$.

Для ПИД – регулятора имеем два уравнения с тремя неизвестными, тогда задаемся отношением:

$$\frac{T_d}{T_i} = \alpha(0.1-0.5),$$

В этом случае расчет формулы для ПИД – регулятора принимает следующий далее вид:

$$C_0 = 0.5[a \cdot \operatorname{Im}^*(m, w) + \sqrt{a^2 \operatorname{Im}^{*2}(m, w) + 4aw\alpha}];$$

$$C_1 = m\operatorname{Im}^*(m, w) - \operatorname{Re}^*(m, w) + \frac{2mw\alpha}{C_0},$$

где $a = w(m^2+1)$.

Для каждого значения частоты от 0 до частоты среза находим точки C_1C_0 и C_1 , соответствующие требуемой степени затухания Ψ . Оптимальным параметром настройки регулятора соответствует точка на линии, равной степени затухания $C_1C_0 = f(C_1)$, лежащая справа от глобального максимума.

Расчет оптимальных параметров для непрерывного регулятора проведем по расширенным АФХ. Для этого найдем линию равной степени затухания $\Psi = 0.99$ и используем наиболее сложный закон управления ПИД, поскольку на микроконтроллере легко реализовать любой закон управления [2].

Примем также $\alpha = \frac{T_d}{T_i} = 0.3$. За счет сервомотора система даже при П - законе управления имеет астатизм 1 порядка. При использовании ПИ или ПИД – регуляторов имеем астатизм 2 порядка, что для систем стабилизации нежелательно.

Покажем качество управления замкнутой системой астатизма второго порядка с самым совершенным промышленным ПИД – законом управления и первого порядка с простейшим П – законом управления.

Стандартная процедура оптимизации предполагает наличие двух элементов системы управления: регулятор и объект. При этом могут быть рассмотрены основные П, ПИ и ПИД – законы управления. Поэтому необходимо сервомотор отнести к объекту.

Отнесем сервомотор к объекту.

Проведем оптимизацию коэффициента усиления пропорционального регулятора

$$\alpha = 0.3, \psi = 0.99, \overset{m}{m} = \frac{-\ln(1 - \psi)}{2 \cdot \pi}, m = 0.733 .$$

$$W_o(p) = \frac{1.2}{5 \cdot p^2 + 6 \cdot p + 1},$$

$$W_c(p) = \frac{1}{1 \cdot p}.$$

$$W_{oc}(p) = W_o(p) \cdot W_c(p).$$

$$\overset{W_{oc}(p)}{W_{oc}(p)} = \frac{1.2}{(5 \cdot p^2 + 6 \cdot p + 1) \cdot p},$$

$$W_{ob}(p) = \frac{1}{W_{oc}(p)}.$$

Выражение обратной расширенной АФХ объекта управления

$$\overset{W_{ob}(p)}{W_{ob}(p)} = 4.167 \cdot p^3 + 5.000 \cdot p^2 + .8333 \cdot p,$$

$$\overset{W_{ob}(i, w)}{W_{ob}(i, w)} = A(i, w) + B(i, w),$$

где:

$$\overset{A(i, w)}{A(i, w)} = 4.15 \cdot w^3 \cdot i^3 - 9.14 \cdot w^3 \cdot i^2 + 6.70 \cdot w^3 \cdot i - 1.64 \cdot w^3$$

$$B(i, w) = 4.99 \cdot w^2 \cdot i^2 - 7.31 \cdot w^2 \cdot i + 2.68 \cdot w^2 + .831 \cdot w \cdot i - .609 \cdot w$$

$$w = 0.0, 0.0 + 0.001 \dots 0.5$$

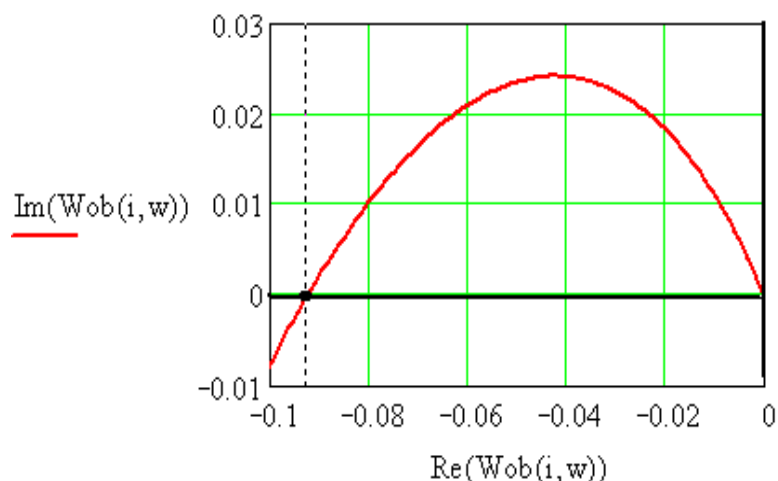


Рисунок 1 – График обратной расширенной АФХ объекта управления

Оптимальный коэффициент усиления регулятора, обеспечивающий удовлетворение двух условий оптимальности равен 0,0925.

$$K_p = 0.0925$$

Амплитудно-фазовая характеристика замкнутой САУ с пропорциональным регулятором и оптимальным коэффициентом усиления

$$W_{zp}(i, w) = \frac{.1110}{5 \cdot w^3 \cdot i^3 + 6 \cdot w^2 \cdot i^2 + 1 \cdot w \cdot i + .1110}$$

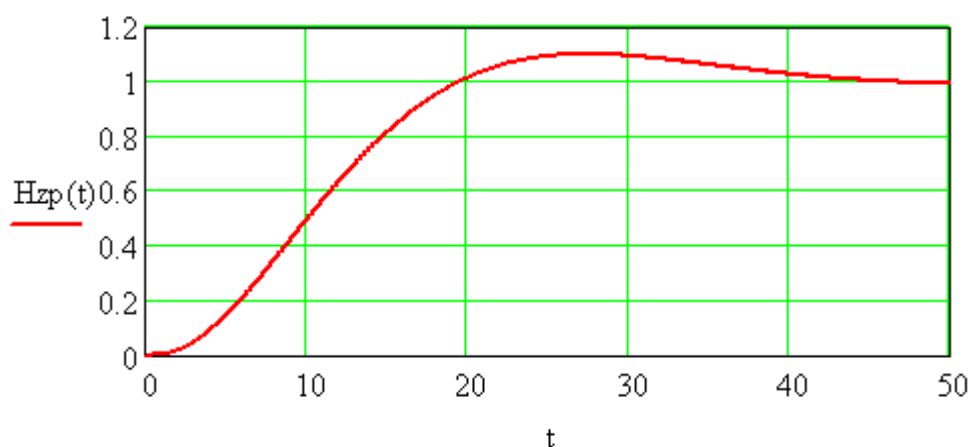


Рисунок 2 – График переходной функции замкнутой САУ с пропорциональным регулятором и оптимальным коэффициентом усиления

Проведем оптимизацию параметров наиболее совершенного ПИД – закона управления.

$$\alpha_w = 0.3, \quad a(w) = w \cdot (m^2 + 1).$$

$$C0(w) = 0.5 \cdot \left(a(w) \cdot \text{Im}(Wob(i, w)) + \sqrt{a(w)^2 \cdot \text{Im}(Wob(i, w))^2 + 4 \cdot a(w) \cdot w \cdot \alpha} \right)$$

$$C1(w) = m \cdot \text{Im}(Wob(i, w)) - \text{Re}(Wob(i, w)) + \frac{2 \cdot m \cdot w \cdot \alpha}{C0(w)}$$

$$w = 0.0, 0.0 + 0.001 .. 0.45$$

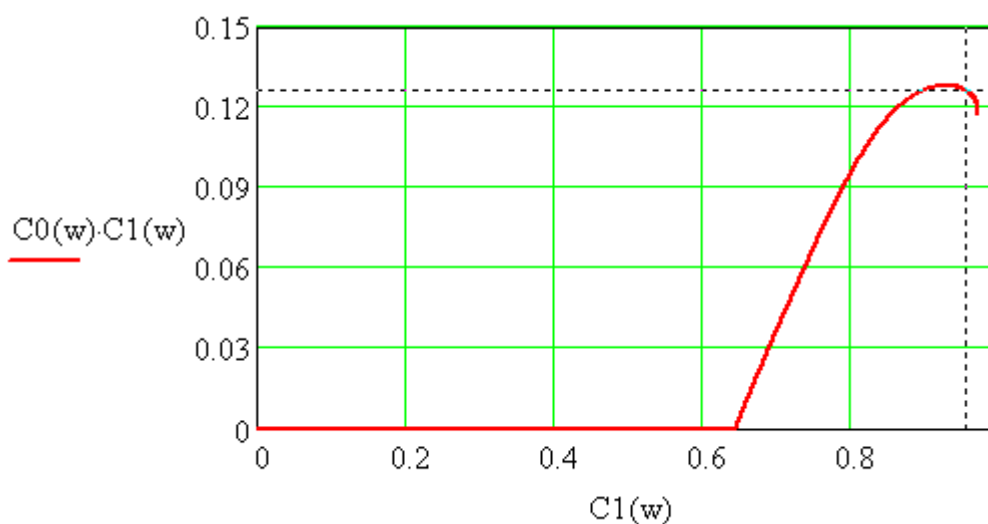


Рисунок 3 – Линия требуемой относительной степени затухания $\Psi = 0,99$

$$K_p = 0.96,$$

$$T_i = \frac{K_p}{0.126},$$

$$T_i = 7.62,$$

$$T_d = T_i \cdot \alpha, T_d = 2.29.$$

Оптимальные параметры ПИД – регулятора:

$$K_p = 0,96,$$

$$T_i = 7,62 \text{ мин},$$

$$T_d = 2,29 \text{ мин.}$$

$$W_r(p) = K_p + T_d \cdot p + \frac{1}{T_i \cdot p}, \quad W_r(p) = .96 + 2.29 \cdot p + \frac{.1312}{p}$$

$$W_{zpid}(p) = \frac{W_{oc}(p) \cdot W_r(p)}{1 + W_{oc}(p) \cdot W_r(p)}$$

$$W_{zpid}(p) = \frac{1.152 \cdot p + 2.748 \cdot p^2 + .1574}{5 \cdot p^4 + 6 \cdot p^3 + 3.748 \cdot p^2 + 1.152 \cdot p + .1574}$$

$$H_{zpid}(t) = 1 - 2.85 \cdot e^{(-.311)t} \cdot \cos(.423 \cdot t) - .749 \cdot e^{(-.311)t} \cdot \sin(.423 \cdot t) + 1.85 \cdot e^{(-.289)t} \cdot \cos(.175 \cdot t) - .207 \cdot e^{(-.289)t} \cdot \sin(.175 \cdot t)$$

АФХ замкнутой САУ с оптимальными параметрами ПИД - регулятора

$$W_{zpid}(i, w) = \frac{1.152 \cdot w \cdot i + 2.748 \cdot w^2 \cdot i^2 + .1574}{5 \cdot w^4 \cdot i^4 + 6 \cdot w^3 \cdot i^3 + 3.748 \cdot w^2 \cdot i^2 + 1.152 \cdot w \cdot i + .1574}$$

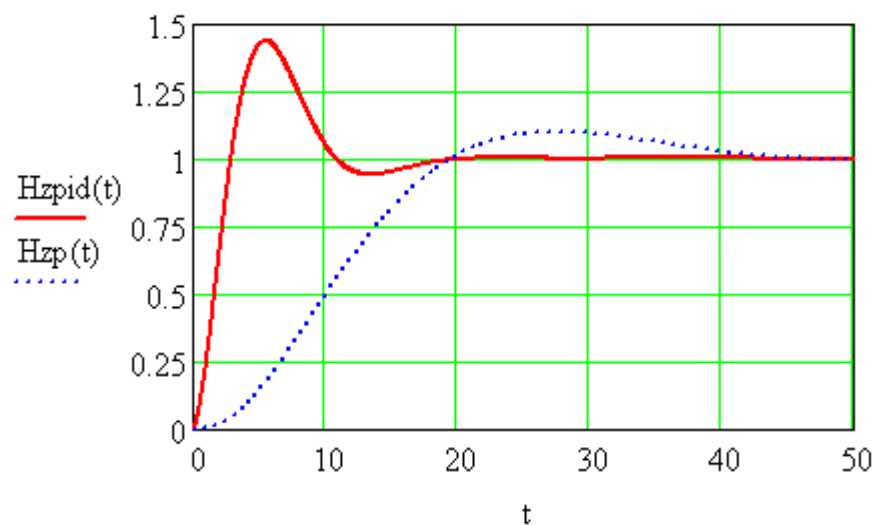


Рисунок 4 – Сравнительные графики переходных функций замкнутых систем с П ($Hzp(t)$) и ПИД $Hzpid(t)$ – регуляторами с оптимальными настройками

Как видно из графиков, переходный процесс в системе с П – законом управления лучше, чем в систем с ПИД – законом управления.

Естественно, что предпочтение следует отдать П –закону управления.

Улучшить качество управления можно, использовав ПДД – закон управления, когда интегральная составляющая реализуется за счет сервомотора [3].

Проведем оптимизацию параметров регулятора без учета сервомотора.

Расчеты показали, что оптимальные параметры регулятора: $Kp = 3,8$; $Ti = 1,5$ мин., $Td = 0,45$ мин.

Выражение АФХ замкнутой САУ с оптимальными параметрами ПИД – регулятора.

$$W_{zpid}(i, w) = \frac{4.560 \cdot w \cdot i + .5400 \cdot w^2 \cdot i^2 + .8000}{5 \cdot w^3 \cdot i^3 + 6.540 \cdot w^2 \cdot i^2 + 5.560 \cdot w \cdot i + .8000}$$

Для определения частоты среза замкнутой системы следует найти частоту, при которой модуль АФХ замкнутой САУ с оптимальными параметрами равен 0.03.

$$w = 0.001, 0.001 + 0.001 \dots 10$$

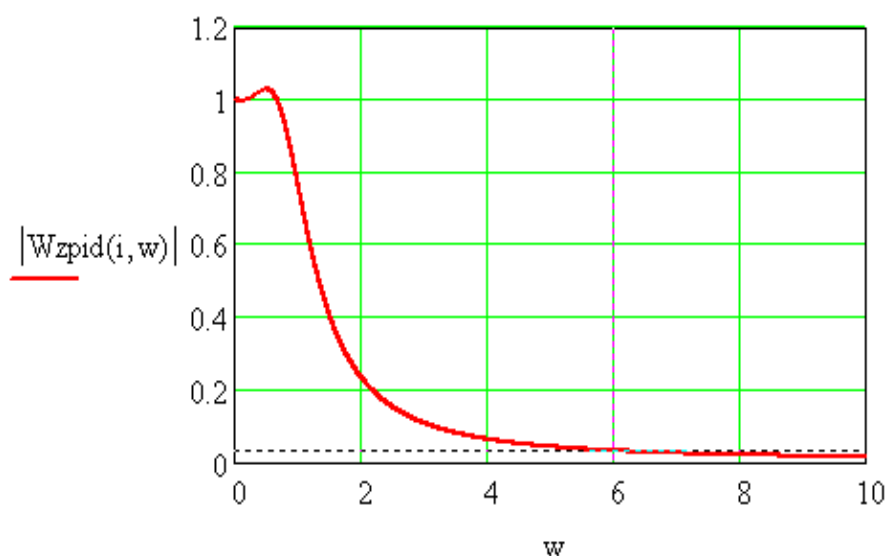


Рисунок 5 – Амплитудно-частотная характеристика замкнутой САУ

Период квантования цифровой САУ, обеспечивающий измерение регулируемой величины дискретным способом без потери информации с двойным запасом по сравнению с рекомендациями В. А. Котельникова можно найти так:

$$W_{\text{ср}} = 6,$$

$$T_{\text{оп}} = \frac{\pi \cdot 0.5}{W_{\text{ср}}},$$

$$T_{\text{оп}} = .25, \quad T_0 = 0.25.$$

Примем период квантования цифрового регулятора $T_0 = 0,25$ мин.

$$W_{\text{г}}(p) = 3.8 + .45 \cdot p + \frac{.6667}{p}$$

Проведем пересчет параметров ПИД – регулятора в параметры ПДД - регулятора

$$W_{\text{г}}(p) = 3.8 + .45 \cdot p + \frac{.6667}{p}$$

$$3.8 + .45 \cdot p + \frac{.6667}{p} = \frac{3.8 \cdot p + .45 \cdot p^2 + .6667}{p}$$

$$W_{\text{пдд}}(p) \cdot W_{\text{с}}(p) = \frac{K_{\text{пдд}} + T_{\text{пд}} \cdot p + T_{\text{дд}} \cdot p^2}{1 \cdot p}$$

$$\frac{3.8 \cdot p + .45 \cdot p^2 + .6667}{p} = \frac{K_{\text{пдд}} + T_{\text{пд}} \cdot p + T_{\text{дд}} \cdot p^2}{1 \cdot p}$$

$$K_{\text{пдд}} = .6667, \quad T_{\text{пд}} = 3.8, \quad T_{\text{дд}} = .45.$$

Передаточная функция ПДД – регулятора:

$$W_{\text{пдд}}(p) = K_{\text{пдд}} + T_{\text{пд}} \cdot p + T_{\text{дд}} \cdot p^2,$$

$$W_{\text{пдд}}(p) = .6667 + 3.8 \cdot p + .45 \cdot p^2.$$

$$W_{\text{ос}}(p) = W_0(p) \cdot W_{\text{с}}(p),$$

$$W_{\text{ос}}(p) \rightarrow \frac{1.2}{(5 \cdot p^2 + 6 \cdot p + 1) \cdot p}.$$

$$W_{oc}(p) = \frac{1.2}{(5 \cdot p^2 + 6 \cdot p + 1) \cdot p},$$

$$W_{rpdd}(p) = W_{oc}(p) \cdot W_{pdd}(p),$$

$$W_{rpdd}(p) = \frac{4.56 \cdot p + .540 \cdot p^2 + .800}{5 \cdot p^3 + 6 \cdot p^2 + 1 \cdot p},$$

$$W_{zpdd}(p) = \frac{W_{rpdd}(p)}{1 + W_{rpdd}(p)},$$

$$W_{zpdd}(p) = \frac{228 \cdot p + 27 \cdot p^2 + 40}{250 \cdot p^3 + 327 \cdot p^2 + 278 \cdot p + 40}.$$

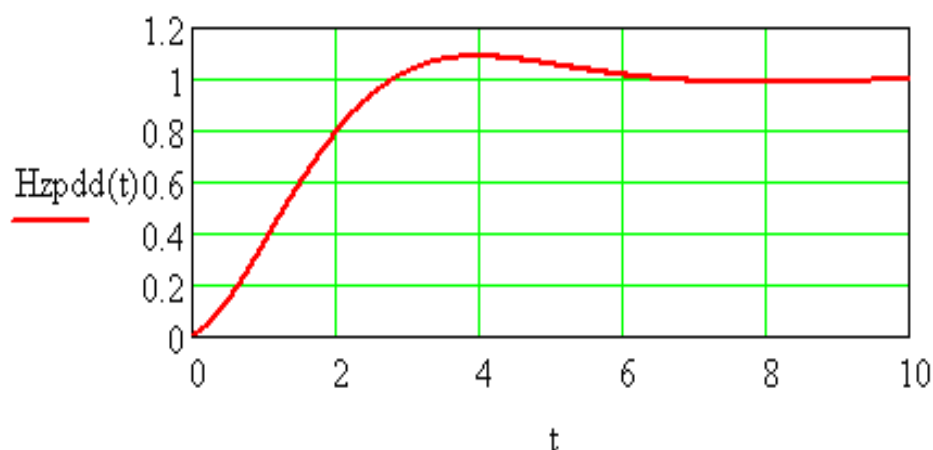


Рисунок 6 – График переходной функции замкнутой САУ с оптимальным ПДД – регулятором

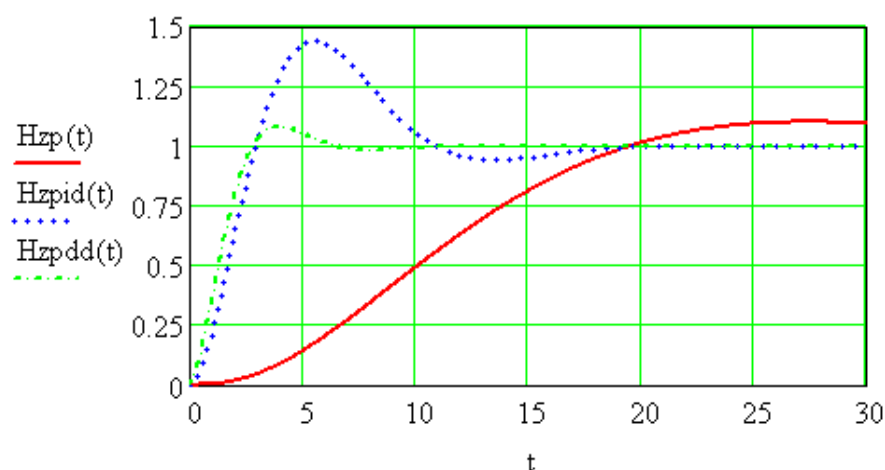


Рисунок 7 – Сравнительные графики переходных функций в замкнутой САУ с П - (H_{zp}(t)), ПИД (H_{zpid}(t), и ПДД – (H_{zpdd}(t) –законами управления

Очевидно, что динамика замкнутой системы с ПДД – регулятором наилучшая, и ПДД – закон управления снижает длительность переходного процесса в 5 раз, обеспечивая аperiodический переходный процесс.

Литература

1. Пиотровский Д.Л., Шарапкина Т.Г. Автоматизация производства органических удобрений //Автоматизация и современные технологии, 2004. №7, с.9-11
2. Посмитный Е.В., Медовщиков М.И. Методика определения интенсивности транспортного потока по акустическому излучению с использованием аппарата исчисления конечных разностей. Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. № 84(10), 2012
3. Пугачев В.И., Марков Ю.Ф., Подгорный С.А. Алгоритм предельно высокой интенсивности цифрового управления// Известия вузов. Пищевая технология. №1, 2006

References

1. Piotrovskij D.L., Sharapkina T.G. Avtomatizacija proizvodstva organi-cheskih udobrenij //Avtomatizacija i sovremennye tehnologii, 2004. №7, s.9-11
2. Posmitnyj E.V., Medovshhikov M.I. Metodika opredelenija intensivno-sti transportnogo potoka po akusticheskomu izlucheniju s ispol'zovaniem apparata is-chislenija konechnyh raznostej. Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU. № 84(10), 2012
3. Pugachev V.I., Markov Ju.F., Podgornyj S.A. Algoritm predel'no vyso-koj intensivnosti cifrovogo upravlenija// Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija. №1, 2006