

УДК 62

ПРИМЕНЕНИЕ ПИД-РЕГУЛЯТОРА В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Устименко В.В.⁽¹⁾, Чубарь А.В.⁽²⁾

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

E-mail: ⁽¹⁾zeya1998@mail.ru, ⁽²⁾alexchub@mail.ru

В данной статье ставится задача рассмотреть воздействие пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора на примере системы управления угловым положением искусственного спутника Земли. Сравнены и проанализированы основные показатели переходного процесса динамического объекта с применением функционала, а также аналогового и ПИД-регулятора. Выявлена и обоснована эффективность применения ПИД-регулятора в системах автоматического управления.

Ключевые слова: автоматизация, проектирование, ПИД-регулятор, спутник, динамический объект.

USING OF THE PID CONTROLLER IN DYNAMIC SYSTEMS TO OPTIMIZE THEIR CHARACTERISTICS

Ustimenko V.V., Chubar A.V.

The aim of this paper is to consider the impact of a PID controller by the example of a system for controlling the angular position of an Earth's satellite. Compared and analyzed the main features of the transition process of dynamic object using functional, analog and PID controllers. The efficiency of using the PID controller in automatic control systems is revealed and justified.

Key words: automation, engineering, PID controller, satellite, dynamic object.

Стадия проектирования является определяющей в жизненном цикле изделий штучного и мелкосерийного производства. Во многих отраслях промышленности в отношении технических систем применяются различные интегрированные среды проектирования. Примерами таких программных комплексов могут служить Моделирование в технических устройствах (МВТУ) [3] или SimInTech [5]. Они позволяют повысить качество изделий, сократить срок их разработки, а также предусмотреть возможные отказы системы и вероятные исходы переходного процесса. В случае неудовлетворительного результата данные системы проектирования позволяют оптимизировать результаты процесса.

В данной статье на примере системы управления угловым положением искусственного спутника Земли будет продемонстрирована возможность применения различных интеграторов для оптимизации показателей динамического процесса.

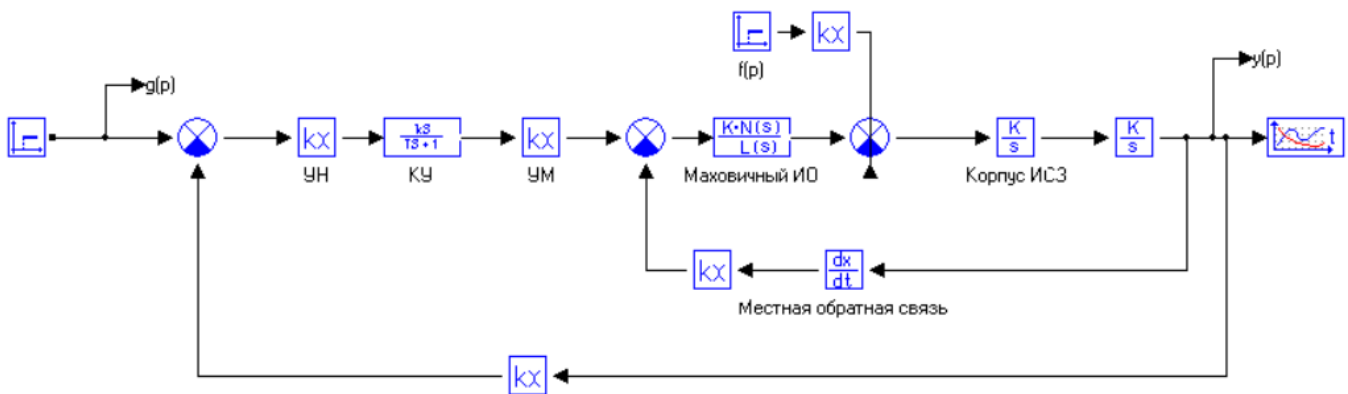


Рисунок 1 - Схема системы управления угловым положением искусственного спутника Земли

Представленная на рисунке 1 схема «Система управления угловым положением искусственного спутника Земли» реализована в программном комплексе МВТУ 3.7. Она включает в себя элементы системы и объекта управления. Системой управления является комплекс, состоящий из: усилителя напряжения и выпрямителя (УН), усилителя мощности (УМ), корректирующего устройства (КУ), маховичного исполнительного органа (Маховичный ИО), датчика угла. Смена углового положения объекта осуществляется за счет сопоставления текущего курса с помощью датчика угла с заданным. Объектом управления является корпус искусственного спутника Земли (Корпус ИСЗ).

Динамику работы каждого элемента системы описывают нижеприведенные уравнения[2].

Усилители напряжения k_u и мощности k_m : $k_u = 20$, $k_m = 0,5$.

Корректирующее устройство: $W_y(p) = \frac{0,05 \cdot p}{6 \cdot p + 1}$

Корпус ИСЗ: $W_k = \frac{0,005}{p^2} (M_y - M_c)$

Маховичный исполнительный орган: $W_{ио} = \frac{2}{10p+1}$ — по напряжению; $W_{ио} = -\frac{120p}{10p+1}$ —

по углу

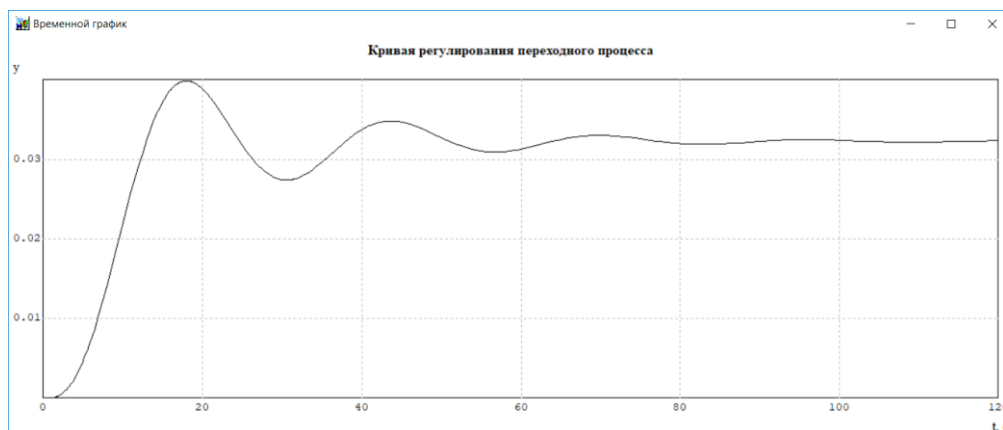


Рисунок 2 - Кривая регулирования

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W_o(p) = \frac{W_y \cdot k_u \cdot k_m \cdot \frac{W_{ио} \cdot W_k}{1 + W_{ио} \cdot W_k \cdot W_y}}{1 + W_y \cdot k_u \cdot k_m \cdot \frac{W_{ио} \cdot W_k}{1 + W_{ио} \cdot W_k \cdot W_y}} = \frac{1}{3000p^3 + 800p^2 + 230p + 31}$$

Кривая регулирования будет иметь вид, представленный на рисунке 2.

Определим основные показатели переходного процесса [1].

1. Время регулирования

Время регулирования - время, за которое величина системы достигает нового установившегося значения. Учитывая, что полное затухание процесса происходит, при $t \rightarrow \infty$, длительность переходного процесса ограничивают тем моментом времени, когда регулируемая величина начинает отклоняться от установившегося значения менее чем на 5%

В рассматриваемом случае $t_{рег} = 57,6$ сек

2. Перерегулирование

Перерегулирование – отношение максимального значения управляемой величины в переходном процессе к установившемуся значению.

$$Y_{max1} = 0,0398$$

$$Y_{уст} = 0,0322$$

$$\sigma = \left| \frac{Y_{max1} - Y_{уст}}{Y_{уст}} \right| = \frac{0,0398 - 0,0322}{0,0322} \cdot 100\% = 23,6\%$$

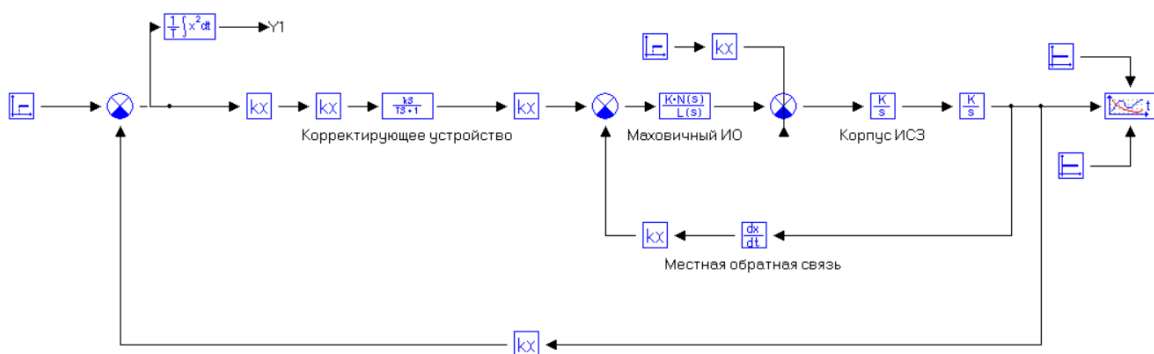


Рисунок 3 - Структурная схема системы с функционалом

3. Затухание характеризует быстроту затухания колебательного процесса.

$$Y_{max2} = 0,0347$$

$$Y_{уст} = 0,0322$$

$$D = \left| \frac{|Y_{max1} - Y_{уст}| - |Y_{max2} - Y_{уст}|}{|Y_{max1} - Y_{уст}|} \right| = \frac{|0,0398 - 0,0322| - |0,0347 - 0,0322|}{|0,0398 - 0,0322|} = \frac{0,0076 - 0,0025}{0,0076} = 0,671$$

Оптимизируем параметры корректирующего устройства. Для этого зададим коэффициент усиления и постоянную времени в глобальных переменных как k и T соответственно.

Оптимизацию будем проводить, применяя типовой блок Функционал из раздела Динамические.

В результате оптимизации были получены следующие значения параметров: $k = 2,364, T = 1$

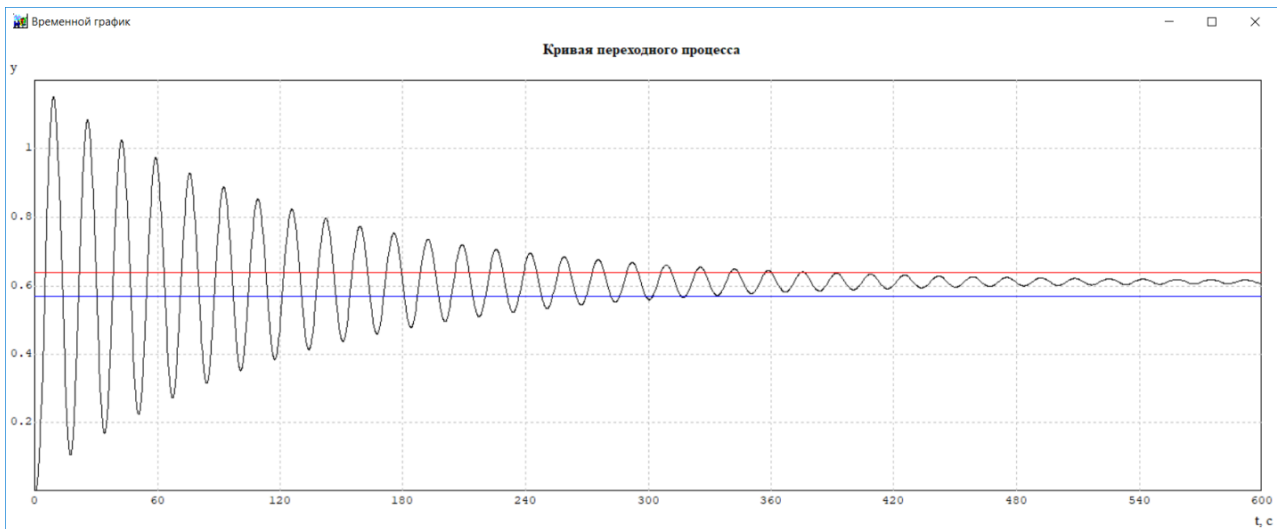


Рисунок 4 - Кривая регулирования при оптимизированных параметрах корректирующего устройства

Основные показатели переходного процесса.

1. Время регулирования

$$t_{\text{рег}} = 376 \text{ сек}$$

2. Перерегулирование

$$Y_{\text{max1}} = 1,14$$

$$Y_{\text{уст}} = 0,61$$

$$\sigma = \left| \frac{Y_{\text{max1}} - Y_{\text{уст}}}{Y_{\text{уст}}} \right| = \frac{1,14 - 0,61}{0,61} \cdot 100\% = 86,88\%$$

3. Затухание

$$Y_{\text{max2}} = 1,0818$$

$$Y_{\text{уст}} = 0,61$$

$$D = \left| \frac{|Y_{\text{max1}} - Y_{\text{уст}}| - |Y_{\text{max2}} - Y_{\text{уст}}|}{|Y_{\text{max1}} - Y_{\text{уст}}|} \right| = \frac{|1,14 - 0,61| - |1,0818 - 0,61|}{|1,14 - 0,61|} = 0,1715$$

Статическая ошибка составляет 40 %. Однако, дальнейшее уменьшение ошибки за счет увеличения коэффициента k невозможно, так как существенно снижается запас устойчивости

системы. Отсюда можно сделать вывод о том, что данный метод оптимизации в рассматриваемом случае не является оптимальным из-за недостаточного качества регулирования.

Реализуем ПИД-регулятор [4].

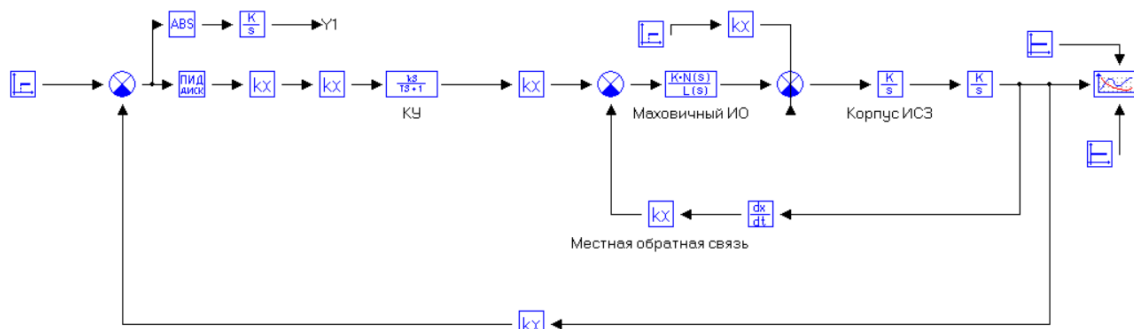


Рисунок 5 - Структурная схема системы с применением ПИД-регулятора

В результате оптимизации были получены следующие значения параметров ПИД-регулятора:

- интегральная составляющая $k_i = 9,789$;
- пропорциональная составляющая $k_p = 22,949$;
- дифференциальная составляющая $k_d = 244,57$;

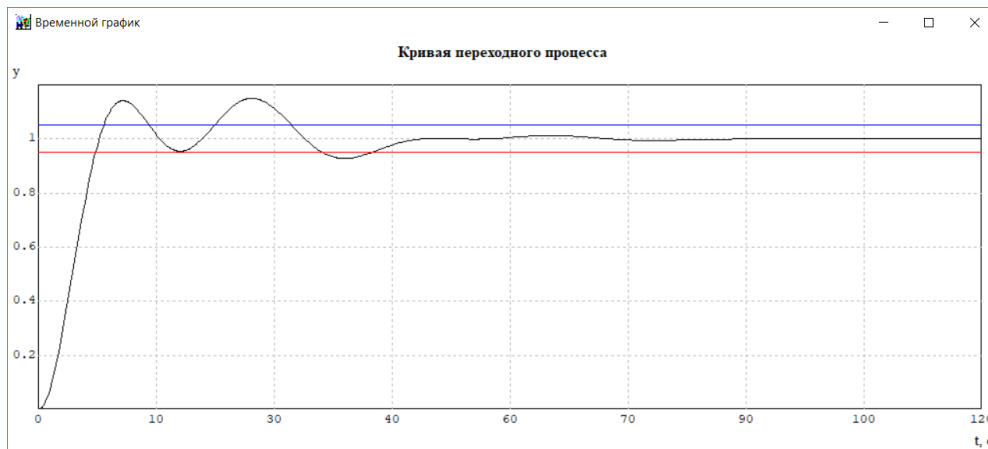


Рисунок 6 - Кривая регулирования с оптимизированными параметрами ПИД-регулятора

Определим основные показатели качества регулирования.

1. Время регулирования

В рассматриваемом случае $t_{\text{рег}} = 43$ сек

2. Перерегулирование

$$Y_{\text{max1}} = 1,507$$

$$Y_{\text{уст}} = 1$$

$$\sigma = \left| \frac{Y_{\text{max1}} - Y_{\text{уст}}}{Y_{\text{уст}}} \right| = \frac{1,1507 - 1}{1} \cdot 100\% = 15,07\%$$

3. Затухание

$$Y_{max2} = 1,149$$

$$Y_{уст} = 1$$

$$D = \left| \frac{|Y_{max1} - Y_{уст}| - |Y_{max2} - Y_{уст}|}{|Y_{max1} - Y_{уст}|} \right| = \frac{|1,1507 - 1| - |1,149 - 1|}{|1,1507 - 1|} = 0,0112$$

Таблица 1 - Сравнение показателей качества регулирования

Параметр	Исходные параметры (аналоговый регулятор)	Параметры, оптимизированные функционалом	Параметры, оптимизированные ПИД-регулятором
Время регулирования $t_{рег}$	57,6 сек	376 сек	43 сек
Перерегулирование σ	23,6%	86,88%	15,07 %
Затухание D	0,671	0,1715	0,0112

Из таблицы 1 следует вывод о том, что применение ПИД-регулятора в рассматриваемой системе приводит к улучшению показателей качества регулирования. В том числе можно наблюдать уменьшение таких параметров как перерегулирование и время регулирования более чем в три раза по сравнению с данными, полученными при работе с функционалом.

Список литературы

1. В мире АСУТП: Показатели качества процесса управления [Электронный ресурс] URL: <https://automation-system.ru/main/10-regulyator/xarakteristiki-i-svoystva/23-74-pokazateli-kachestva-proczessa-upravleniya.html>
2. Воронин А.В. «Теория автоматического управления. Основы построения и анализа систем автоматического регулирования: учебно-методическое пособие»// Томск: Издательство Томского политехнического университета - 2013.
3. Марецкая В.В. Моделирование технологических процессов механической обработки с использованием программного комплекса «Моделирование в технических устройствах» («МВТУ») // Изв. вузов. Машиностроение. 2004. № 4. С. 39–52.
4. Энциклопедия АСУ ТП: 5 ПИД-регуляторы: 5.2 Классический ПИД-регулятор [Электронный ресурс] URL: https://www.bookasutp.ru/Chapter5_2.aspx
5. SimInTech – Simulation in Technic [Электронный ресурс] URL: <http://simintech.ru>